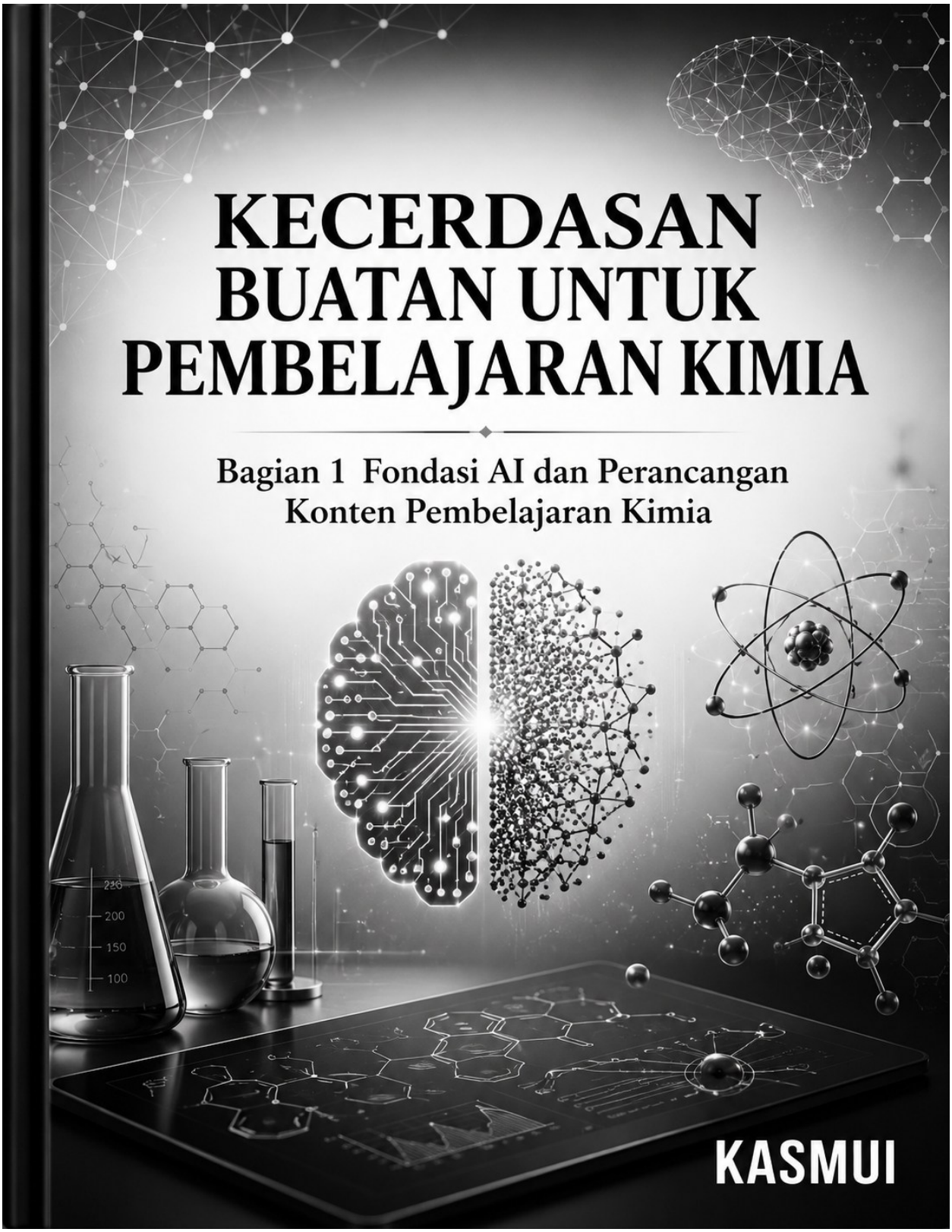
KECERDASAN BUATAN UNTUK PEMBELAJARAN KIMIA

Bagian 1 Fondasi AI dan Perancangan Konten Pembelajaran Kimia

KASMUI


KECERDASAN
BUATAN UNTUK
PEMBELAJARAN KIMIA
Bagian 1 Fondasi AI dan Perancangan
Konten Pembelajaran Kimia
KASMUI

Buku ini bebas
didownload untuk dibaca
tetapi haram hukummya
untuk diperjualbelikan
oleh orang bukan penyusun
buku ini.

KECERDASAN BUATAN UNTUK PEMBELAJARAN KIMIA

Bagian 1

Fondasi AI dan Perancangan Konten Pembelajaran Kimia

Fokus Utama: Pemahaman dasar konsep AI, penguasaan *prompt engineering*, serta pemanfaatannya dalam merancang bahan ajar, visualisasi materi, dan aktivitas laboratorium kimia.

Bagian 2

Evaluasi, Pembelajaran Adaptif, Etika, dan Proyek Implementasi

Fokus Utama: Penggunaan AI untuk menilai hasil belajar, menyesuaikan metode pembelajaran dengan kebutuhan siswa, memahami batasan etika, dan menyatukan seluruh keterampilan dalam sebuah proyek akhir.

KECERDASAN BUATAN UNTUK PEMBELAJARAN KIMIA:

BAGIAN 1 FONDASI AI DAN PERANCANGAN KONTEN PEMBELAJARAN KIMIA

Penulis: **KASMUI**
Desain Sampul & Penata Letak: **KASMUI / Tim Artistik Penerbit**

Penerbit: **Jaten & Siblings**
Alamat: **Patemon, Gunungpati, Semarang**
Cetakan I, Edisi Tahun **2026**

Hak Cipta 2026 pada Penulis. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang. Dilarang mengutip, memperbanyak, atau menerjemahkan sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit, kecuali untuk kepentingan tinjauan pustaka atau resensi.

Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

KASMUI
KECERDASAN BUATAN UNTUK PEMBELAJARAN KIMIA: Bagian 1 Fondasi AI dan Perancangan Konten Pembelajaran Kimia *(Edisi I)* — Semarang: Jaten & Siblings, 2026.

648 hlm; 21 x 29,7 cm.

ISBN: **978-623-XXXX-XX-X**

Subjek:

1. Kecerdasan Buatan dalam Pendidikan
2. Pembelajaran Kimia
3. Teknologi Pendidikan
4. Prompt Engineering
5. Media dan Bahan Ajar Kimia

Nomor Klasifikasi DDC: **371.334**
Kecerdasan buatan, teknologi pendidikan, dan media pembelajaran dalam konteks pendidikan kimia.

Dicetak oleh **Jaten Press**

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas limpahan rahmat, ilmu, dan kesempatan yang diberikan sehingga buku ***Kecerdasan Buatan untuk Pembelajaran Kimia: Bagian 1 Fondasi AI dan Perancangan Konten Pembelajaran Kimia*** ini dapat disusun sebagai ikhtiar akademik untuk menjawab salah satu kebutuhan penting pendidikan masa kini: bagaimana kecerdasan buatan dapat dipahami, digunakan, dikritisi, dan diintegrasikan secara bertanggung jawab dalam pembelajaran kimia.

Perkembangan kecerdasan buatan atau *artificial intelligence* telah membawa perubahan besar dalam dunia pendidikan. AI tidak lagi hanya dipahami sebagai teknologi masa depan, tetapi telah hadir dalam berbagai aktivitas pembelajaran, mulai dari penyusunan bahan ajar, pembuatan soal, perancangan media, analisis data belajar, pengembangan umpan balik, hingga simulasi dan visualisasi konsep. Dalam konteks pendidikan kimia, kehadiran AI menjadi semakin relevan karena kimia merupakan ilmu yang sarat dengan abstraksi, simbol, model, dan representasi. Banyak konsep kimia tidak dapat diamati secara langsung oleh peserta didik, seperti struktur atom, konfigurasi elektron, orbital, ikatan kimia, geometri molekul, gaya antarmolekul, mekanisme reaksi, kesetimbangan dinamis, dan proses elektrokimia. Buku ini menempatkan AI sebagai alat bantu pedagogis yang dapat memperkaya proses belajar, bukan sebagai pengganti guru, dosen, laboratorium, atau penalaran ilmiah manusia.

Buku ini disusun dengan kesadaran bahwa tantangan utama pendidikan kimia bukan sekadar menyampaikan informasi, melainkan membantu peserta didik membangun pemahaman konseptual yang benar. Pembelajaran kimia menuntut kemampuan menghubungkan tiga level representasi, yaitu level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Peserta didik tidak cukup hanya melihat perubahan warna, endapan, gas, atau perubahan suhu; mereka juga perlu memahami proses partikel yang tidak terlihat dan mampu menyatakannya dalam rumus, persamaan reaksi, model, grafik, dan simbol kimia. Tanpa kemampuan menghubungkan ketiga level tersebut, pembelajaran kimia mudah jatuh pada hafalan prosedural, miskonsepsi, dan pemahaman parsial. Dokumen buku ini juga menegaskan bahwa konsep-konsep seperti struktur atom, ikatan kimia, bentuk molekul, kesetimbangan, termodinamika, kinetika reaksi, elektrokimia, kimia organik, dan kimia komputasi memerlukan visualisasi, pemodelan, simulasi, serta penalaran abstrak.

Dalam kerangka tersebut, AI dapat menjadi jembatan antara konsep abstrak dan pengalaman belajar yang lebih konkret. AI dapat membantu guru menyusun penjelasan bertahap, membuat analogi, mengembangkan peta konsep, menyiapkan bahan ajar kontekstual, merancang soal diagnostik, menghasilkan skenario diskusi, menyusun LKPD, dan memberi umpan balik awal terhadap jawaban peserta didik. AI juga dapat membantu visualisasi molekul, representasi partikel, simulasi konsep, dan pengolahan data praktikum. Namun, manfaat tersebut hanya akan bermakna apabila pengguna AI memiliki literasi konseptual, literasi pedagogis, dan literasi etis yang memadai. AI yang digunakan tanpa validasi dapat menghasilkan penjelasan yang tampak

meyakinkan tetapi salah secara ilmiah. Dalam pembelajaran kimia, kesalahan semacam ini dapat menimbulkan risiko serius, seperti miskonsepsi, prosedur eksperimen yang tidak aman, atau pemahaman yang menyimpang dari prinsip ilmiah.

Buku ini karena itu tidak memposisikan AI sebagai jalan pintas untuk menghindari berpikir. Sebaliknya, buku ini memandang AI sebagai sarana untuk memperkuat proses berpikir, memperkaya desain pembelajaran, memperluas representasi, dan meningkatkan kualitas refleksi pedagogis. Guru, dosen, calon guru, mahasiswa, dan pemerhati pendidikan kimia tetap menjadi pengendali utama dalam proses validasi, seleksi, kurasi, dan penggunaan keluaran AI. Dalam pendidikan kimia, kebenaran tidak cukup diukur dari kelancaran bahasa atau keindahan tampilan visual, tetapi harus diuji melalui teori, data, model, eksperimen, dan kaidah ilmiah yang sahih.

Bagian pertama buku ini secara khusus diarahkan untuk membangun fondasi konseptual dan keterampilan awal pemanfaatan AI dalam pembelajaran kimia. Bab pertama membahas konsep dasar kecerdasan buatan dalam pendidikan kimia, mulai dari pengertian AI, sejarah perkembangannya, jenis-jenis AI, *machine learning*, *deep learning*, *generative AI*, *large language models*, chatbot edukatif, sistem rekomendasi, tutor cerdas, pembelajaran adaptif, hingga posisi AI dalam transformasi pendidikan kimia. Pembahasan ini penting agar pembaca tidak memahami AI secara dangkal sebagai sekadar aplikasi penjawab pertanyaan, tetapi sebagai keluarga teknologi komputasional yang memiliki peluang, keterbatasan, risiko, dan implikasi pedagogis yang berbeda-beda.

Bab kedua membahas karakteristik ilmu kimia dan tantangan pembelajarannya. Kimia sebagai ilmu tentang materi dan perubahannya memiliki karakter abstrak yang kuat. Banyak fenomena kimia terjadi pada tingkat partikel dan tidak dapat diamati langsung oleh peserta didik. Oleh sebab itu, pembelajaran kimia membutuhkan representasi, visualisasi, eksperimen, data, model, dan penalaran ilmiah. Bab ini juga menyoroti kesulitan belajar kimia, miskonsepsi, kebutuhan visualisasi molekul, representasi partikel, serta peran AI dalam menjembatani konsep abstrak dan pengalaman konkret. Visualisasi molekul dan representasi partikel dipandang sebagai kebutuhan mendasar karena peserta didik harus membayangkan atom, ion, molekul, orbital, pasangan elektron, tumbukan partikel, dan kesetimbangan dinamis yang tidak hadir sebagai objek kasatmata.

Bab ketiga membahas *prompt engineering* dalam konteks pembelajaran kimia. Di era AI generatif, kualitas keluaran sangat dipengaruhi oleh kualitas instruksi yang diberikan. Prompt yang terlalu umum sering menghasilkan jawaban yang juga umum, kurang pedagogis, tidak sesuai jenjang, dan berisiko mengabaikan miskonsepsi. Oleh karena itu, prompt dalam pembelajaran kimia perlu disusun dengan memperhatikan peran, tugas, konteks, batasan, tujuan, format keluaran, jenjang peserta didik, representasi kimia, serta kebutuhan validasi konsep. Buku ini menekankan bahwa prompt yang baik tidak hanya meminta AI menjelaskan materi, tetapi mengarahkan AI agar menghasilkan keluaran yang akurat, kontekstual, bertahap, dan bermanfaat untuk pembelajaran. Prompt untuk menghasilkan penjelasan konsep kimia perlu mempertimbangkan karakter khas ilmu

kimia, terutama kebutuhan visualisasi, pemodelan, simulasi, dan pengaitan antara representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik.

Bab keempat membahas pemanfaatan AI dalam pengembangan bahan ajar kimia. AI dapat membantu menyusun buku ajar, modul, handout, bahan pengayaan, LKPD, lembar aktivitas, infografik, slide, media visual, peta konsep, glosarium, rangkuman, dan materi remedial. Namun, pengembangan bahan ajar berbantuan AI tidak boleh berhenti pada produksi teks atau desain visual. Guru dan dosen tetap perlu bertindak sebagai kurator, editor, dan validator. Setiap keluaran AI harus diperiksa dari sisi akurasi konsep, kesesuaian kurikulum, bahasa, keterbacaan, alur pedagogis, kedalaman materi, serta relevansi dengan karakteristik peserta didik.

Bab kelima membahas AI untuk visualisasi konsep kimia. Visualisasi memiliki posisi penting karena banyak konsep kimia bekerja pada ranah submikroskopik. AI dapat membantu menjelaskan struktur atom, konfigurasi elektron, ikatan kimia, geometri molekul, teori VSEPR, gaya antarmolekul, persamaan reaksi, mekanisme reaksi, kimia organik, model molekul, dan kimia komputasi edukatif. Namun, visualisasi AI juga memiliki risiko. Gambar yang indah belum tentu benar secara ilmiah. Model molekul yang menarik belum tentu sesuai dengan struktur sebenarnya. Animasi yang memukau dapat menimbulkan miskonsepsi apabila tidak dikontrol secara pedagogis. Karena itu, buku ini menekankan pentingnya validasi visualisasi agar AI tidak sekadar menghasilkan media yang estetis, tetapi juga akurat dan mendidik.

Bab keenam membahas AI dalam praktikum kimia, laboratorium virtual, analisis data, dan keselamatan kerja. Praktikum merupakan bagian penting dari pembelajaran kimia karena kimia adalah ilmu eksperimental. AI dapat membantu merancang prosedur eksperimen yang aman dan edukatif, menyusun LKPD praktikum berbasis inkuiri, mengembangkan simulasi laboratorium, menganalisis data praktikum, menafsirkan tabel dan grafik, serta menawarkan alternatif alat dan bahan sederhana. Akan tetapi, AI tidak boleh menggantikan prinsip keselamatan laboratorium, pengawasan guru, dan pengalaman empiris peserta didik. Dalam praktikum kimia, keluaran AI harus diperiksa secara ketat agar tidak menghasilkan prosedur yang berbahaya, tidak realistis, atau tidak sesuai dengan standar keselamatan kerja.

Kehadiran buku ini diharapkan dapat membantu pembaca memahami AI secara lebih utuh: bukan hanya sebagai teknologi yang menarik, tetapi sebagai bagian dari desain pembelajaran yang memerlukan tanggung jawab ilmiah. Buku ini ditulis terutama untuk guru kimia, calon guru kimia, dosen, mahasiswa pendidikan kimia, pengembang bahan ajar, dan pemerhati pendidikan sains. Harapannya, pembaca dapat menggunakan AI untuk memperkaya pembelajaran, bukan menggantikan proses belajar; mempercepat pekerjaan, bukan menurunkan kualitas berpikir; memperluas visualisasi, bukan menciptakan miskonsepsi; serta mendukung inovasi, bukan mengabaikan etika akademik.

Penulis menyadari bahwa perkembangan AI sangat cepat. Apa yang hari ini dianggap mutakhir dapat berubah dalam waktu singkat. Oleh karena itu, buku ini tidak dimaksudkan sebagai panduan final yang menutup kemungkinan revisi, melainkan sebagai fondasi konseptual dan pedagogis yang dapat terus dikembangkan. Prinsip dasarnya tetap sama: AI harus digunakan secara kritis, kreatif, etis, akurat, dan bertanggung jawab. Dalam konteks pendidikan kimia, teknologi terbaik sekalipun tetap memerlukan sentuhan manusia yang memahami ilmu, memahami peserta didik, dan memahami tujuan pendidikan.

Akhirnya, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi inspirasi, dukungan, dan ruang intelektual bagi penyusunan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi pengembangan pembelajaran kimia yang lebih adaptif, visual, kontekstual, dan bermakna. Semoga kehadiran AI dalam pendidikan tidak menjauhkan manusia dari kedalaman berpikir, tetapi justru membantu manusia semakin cermat membaca tanda-tanda ilmu, semakin bertanggung jawab dalam menggunakan teknologi, dan semakin bijaksana dalam membimbing generasi pembelajar.

Semarang, 2026

KASMUI

KAS
MUI

Digitally signed by KASMUI
DN: cn=KASMUI gn=KASMUI c=Indonesia l=ID o=Muhammadiyah ou=PCM Gunungpati 2 e=kasmui@mail.unnes.ac.id
Reason: I am the author of this document
Location:
Date: 2026-06-08 05:18+07:00

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR 5
DAFTAR ISI 9
BAB 1 32
Konsep Dasar Kecerdasan Buatan dalam Pendidikan Kimia 32
1.1 Pengertian Kecerdasan Buatan 32
1.2 Sejarah Singkat Perkembangan Artificial Intelligence 36
1.3 Jenis-Jenis AI dan Perkembangannya dalam Dunia Pendidikan 41
1.4 Machine Learning, Deep Learning, dan Generative AI 48
1.5 Large Language Models dan Chatbot Edukatif 53
1.6 Sistem Rekomendasi, Tutor Cerdas, dan Pembelajaran Adaptif 59
1.7 Posisi AI dalam Transformasi Pendidikan Kimia 66
1.8 Peluang dan Keterbatasan AI bagi Guru dan Calon Guru Kimia 72
1.9 Literasi AI sebagai Kompetensi Baru Pendidik Kimia 79
1.10 AI sebagai Alat Bantu Pedagogis, Bukan Pengganti Guru 86
Simpulan Bab 1 92
Daftar Pustaka Bab 1 93
BAB 2 95
Karakteristik Pembelajaran Kimia dan Kebutuhan Teknologi AI 95
2.1 Hakikat Ilmu Kimia sebagai Ilmu tentang Materi dan Perubahannya 95
2.2 Karakter Abstrak dalam Konsep-Konsep Kimia 100
2.3 Tiga Level Representasi Kimia: Makroskopik, Submikroskopik, dan Simbolik 107
2.4 Kesulitan Belajar Kimia dan Penyebabnya 114
2.5 Miskonsepsi dalam Pembelajaran Kimia 121
2.6 Kebutuhan Visualisasi Molekul dan Representasi Partikel 128
2.7 Eksperimen, Data, dan Penalaran Ilmiah dalam Kimia 135
2.8 Peran AI dalam Menjembatani Konsep Abstrak dan Pengalaman Konkret 142
2.9 Pembelajaran Kimia Berbasis Data dan Teknologi Digital 149
2.10 Tantangan Integrasi AI dalam Pembelajaran Kimia Sekolah dan Perguruan Tinggi 156
Simpulan Bab 2 163
Daftar Pustaka Bab 2 164
BAB 3 166

Prompt Engineering untuk Pembelajaran Kimia 166
3.1 Pengertian Prompt Engineering dalam Konteks Pembelajaran Kimia 166
3.2 Prinsip Prompt yang Efektif: Jelas, Kontekstual, Bertahap, dan Berbasis Tujuan 173
3.3 Struktur Prompt: Peran, Tugas, Konteks, Batasan, dan Format Output 180
3.4 Prompt untuk Menghasilkan Penjelasan Konsep Kimia 188
3.5 Prompt untuk Membuat Ringkasan, Analogi, dan Contoh Kontekstual 197
3.6 Prompt untuk Menyusun Skenario Diskusi dan Aktivitas Kelas 206
3.6.1 Hakikat Skenario Diskusi dalam Pembelajaran Kimia 207
3.6.2 Prinsip Prompt untuk Skenario Diskusi Kimia 207
3.6.3 Prompt untuk Diskusi Berbasis Fenomena 208
3.6.4 Prompt untuk Diskusi Berbasis Miskonsepsi 209
3.6.5 Prompt untuk Diskusi Berbasis Data 210
3.6.6 Prompt untuk Diskusi Berbasis Argumentasi Ilmiah 210
3.6.7 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Kelompok 211
3.6.8 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Simulasi 212
3.6.9 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Praktikum Mini 212
3.6.10 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Masalah 213
3.6.11 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis *Think-Pair-Share* 213
3.6.12 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Debat Ilmiah 214
3.6.13 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Permainan Edukatif 214
3.6.14 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Studi Kasus 215
3.6.15 Struktur Umum Prompt Skenario Diskusi dan Aktivitas Kelas 215
3.6.16 Contoh Prompt Lengkap: Diskusi Elektrolit 216
3.6.17 Contoh Prompt Lengkap: Diskusi Kesetimbangan 216
3.6.18 Evaluasi Skenario Diskusi Buatan AI 217
3.6.19 Implikasi bagi Guru Kimia 217
3.7 Prompt untuk Mengembangkan Bahan Ajar, Modul, dan LKPD 218
3.7.1 Hakikat Bahan Ajar Kimia Berbantuan AI 219
3.7.2 Prinsip Prompt untuk Mengembangkan Modul Kimia 219
3.7.3 Prompt untuk Membuat Struktur Modul Kimia 220
3.7.4 Prompt untuk Mengembangkan Uraian Materi Kimia 221
3.7.5 Prompt untuk Mengembangkan LKPD Kimia 222
3.7.6 Prompt untuk LKPD Berbasis Praktikum 222

3.7.7 Prompt untuk LKPD Berbasis Simulasi 223
3.7.8 Prompt untuk LKPD Berbasis Masalah 224
3.7.9 Prompt untuk LKPD Berbasis Proyek 224
3.7.10 Prompt untuk Mengembangkan Bahan Remedial 225
3.7.11 Prompt untuk Mengembangkan Bahan Pengayaan 225
3.7.12 Prompt untuk Mengembangkan Handout Kimia 226
3.7.13 Prompt untuk Mengembangkan Peta Konsep 226
3.7.14 Prompt untuk Mengembangkan Glosarium Kimia 227
3.7.15 Prompt untuk Mengembangkan Contoh Soal dan Latihan Bertahap 227
3.7.16 Prompt untuk Menambahkan Asesmen Formatif dalam Bahan Ajar 228
3.7.17 Prompt untuk Validasi Bahan Ajar Buatan AI 228
3.7.18 Struktur Umum Prompt Bahan Ajar, Modul, dan LKPD 228
3.7.19 Evaluasi Hasil AI dalam Pengembangan Bahan Ajar 229
3.8 Prompt untuk Menyusun Soal, Rubrik, dan Umpan Balik Pembelajaran 230
3.8.1 Hakikat Prompt Asesmen dalam Pembelajaran Kimia 231
3.8.2 Prinsip Prompt untuk Menyusun Soal Kimia 231
3.8.3 Prompt untuk Soal Pilihan Ganda Kimia 232
3.8.4 Prompt untuk Soal Pilihan Ganda Beralasan 233
3.8.5 Prompt untuk Soal Two-Tier dan Three-Tier 233
3.8.6 Prompt untuk Soal Uraian Kimia 234
3.8.7 Prompt untuk Soal HOTS Kimia 235
3.8.8 Prompt untuk Soal Berbasis Data dan Grafik 235
3.8.9 Prompt untuk Soal Berbasis Praktikum 236
3.8.10 Prompt untuk Menyusun Rubrik Analitik 236
3.8.11 Prompt untuk Menyusun Rubrik Holistik 237
3.8.12 Prompt untuk Rubrik Praktikum Kimia 237
3.8.13 Prompt untuk Rubrik Proyek dan Produk Kreatif 238
3.8.14 Prompt untuk Rubrik Argumentasi Ilmiah 238
3.8.15 Prompt untuk Menyusun Umpan Balik Pembelajaran 238
3.8.16 Prompt untuk Umpan Balik Adaptif 239
3.8.17 Prompt untuk Umpan Balik Bertingkat 239
3.8.18 Prompt untuk Mengevaluasi Soal, Rubrik, dan Umpan Balik Buatan AI 240
3.8.19 Template Prompt Terpadu untuk Soal, Rubrik, dan Umpan Balik 240

3.8.20 Validasi Hasil Prompt Asesmen 241
3.9 Prompt untuk Simulasi, Praktikum, dan Eksperimen Kimia 242
3.9.1 Hakikat Simulasi, Praktikum, dan Eksperimen dalam Pembelajaran Kimia 243
3.9.2 Prinsip Umum Prompt untuk Simulasi dan Praktikum Kimia 243
3.9.3 Prompt untuk Mendesain Simulasi Kimia 244
3.9.4 Prompt untuk Mendesain Praktikum Demonstrasi 245
3.9.5 Prompt untuk Mendesain Praktikum Inkuiri Terbimbing 246
3.9.6 Prompt untuk Mendesain Eksperimen Berbasis Variabel 246
3.9.7 Prompt untuk Mendesain Praktikum Berbasis Data Sekunder 247
3.9.8 Prompt untuk Mendesain Praktikum Virtual 247
3.9.9 Prompt untuk Mendesain Eksperimen Rumah yang Aman 248
3.9.10 Prompt untuk Menyusun K3 Praktikum Kimia 248
3.9.11 Prompt untuk Menyusun Tabel Pengamatan dan Data 249
3.9.12 Prompt untuk Menyusun Pertanyaan Analisis Pasca-Praktikum 249
3.9.13 Prompt untuk Menyusun Rubrik Praktikum dan Eksperimen 250
3.9.14 Prompt untuk Menyusun Refleksi Praktikum 250
3.9.15 Prompt untuk Mengintegrasikan AI dalam Praktikum 251
3.9.16 Prompt untuk Mengevaluasi Prosedur Praktikum Buatan AI 251
3.9.17 Template Prompt Simulasi, Praktikum, dan Eksperimen 252
3.9.18 Contoh Prompt Lengkap: Praktikum Elektrolit 252
3.9.19 Contoh Prompt Lengkap: Simulasi Kesetimbangan 253
3.9.20 Validasi Akhir Rancangan Praktikum dan Eksperimen 253
3.10 Evaluasi, Perbaikan, dan Iterasi Prompt dalam Pembelajaran Kimia 254
3.10.1 Hakikat Evaluasi Prompt dalam Pembelajaran Kimia 254
3.10.2 Mengapa Iterasi Prompt Diperlukan dalam Kimia 255
3.10.3 Langkah-Langkah Evaluasi Prompt 256
3.10.4 Rubrik Evaluasi Prompt Pembelajaran Kimia 257
3.10.5 Evaluasi Output AI sebagai Dasar Perbaikan Prompt 257
3.10.6 Strategi Perbaikan Prompt 258
3.10.7 Iterasi Prompt Bertahap 259
3.10.8 Teknik Prompt Revisi: Tambah, Kurangi, Ganti, Tegaskan 260
3.10.9 Evaluasi Akurasi Konsep Kimia dalam Output AI 260
3.10.10 Evaluasi Representasi Kimia 261

3.10.11 Evaluasi Keselamatan Prompt Praktikum 261
3.10.12 Evaluasi Kesesuaian Jenjang dan Bahasa 262
3.10.13 Evaluasi Aktivitas Siswa dalam Output AI 262
3.10.14 Evaluasi Asesmen dalam Output AI 263
3.10.15 Dokumentasi Iterasi Prompt 263
3.10.16 Prompt untuk Refleksi Penggunaan AI 264
3.10.17 Kesalahan Umum dalam Prompt Pembelajaran Kimia 264
3.10.18 Model Siklus Iterasi Prompt dalam Pembelajaran Kimia 265
3.10.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 265
Simpulan Bab 3 266
Daftar Pustaka Bab 3 268
BAB 4 270
AI untuk Pengembangan Bahan Ajar Kimia 270
4.1 Peran AI dalam Perencanaan Bahan Ajar Kimia 270
4.1.1 AI sebagai Asisten Perencanaan Instruksional 270
4.1.2 AI untuk Analisis Kebutuhan Bahan Ajar 271
4.1.3 AI untuk Menentukan Tujuan dan Indikator Pembelajaran 272
4.1.4 AI untuk Menyusun Urutan Materi Kimia 273
4.1.5 AI untuk Memetakan Prasyarat Konsep 273
4.1.6 AI untuk Mengidentifikasi Miskonsepsi Target 274
4.1.7 AI untuk Menentukan Bentuk Bahan Ajar yang Tepat 275
4.1.8 AI untuk Merancang Diferensiasi Bahan Ajar 276
4.1.9 AI untuk Menyusun Alur Bahan Ajar Berbasis Aktivitas 276
4.1.10 AI untuk Menyusun Komponen Asesmen dalam Bahan Ajar 277
4.1.11 AI untuk Menentukan Media Pendukung Bahan Ajar 277
4.1.12 AI untuk Menyusun Bahan Ajar Kontekstual 278
4.1.13 AI untuk Perencanaan Bahan Ajar Berbasis Model Pembelajaran 278
4.1.14 AI untuk Merancang Bahan Ajar Berbasis Literasi Sains 279
4.1.15 AI untuk Perencanaan Bahan Ajar Remedial dan Pengayaan 279
4.1.16 AI untuk Menyusun Rencana Validasi Bahan Ajar 280
4.1.17 AI dan Efisiensi Kerja Guru dalam Pengembangan Bahan Ajar 280
4.1.18 Batasan AI dalam Perencanaan Bahan Ajar Kimia 281
4.1.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 281

4.2 AI untuk Menyusun Buku Ajar dan Modul Pembelajaran Kimia 282
4.2.1 Perbedaan Buku Ajar dan Modul Pembelajaran Kimia 283
4.2.2 Prinsip Penyusunan Buku Ajar Kimia Berbantuan AI 284
4.2.3 Prinsip Penyusunan Modul Kimia Berbantuan AI 285
4.2.4 AI untuk Menyusun Kerangka Buku Ajar Kimia 285
4.2.5 AI untuk Menyusun Kerangka Modul Kimia 286
4.2.6 AI untuk Menulis Uraian Materi Buku Ajar 287
4.2.7 AI untuk Menulis Uraian Materi Modul 287
4.2.8 AI untuk Menyusun Peta Konsep dalam Buku Ajar dan Modul 288
4.2.9 AI untuk Menyusun Contoh dan Non-Contoh 288
4.2.10 AI untuk Menyusun Ilustrasi Konseptual dalam Buku dan Modul 289
4.2.11 AI untuk Menyusun Latihan Bertahap dalam Modul 289
4.2.12 AI untuk Menyusun Rangkuman dan Refleksi 290
4.2.13 AI untuk Menyusun Kunci Jawaban dan Umpan Balik Modul 290
4.2.14 AI untuk Menyusun Bahan Remedial dalam Modul 291
4.2.15 AI untuk Menyusun Bahan Pengayaan dalam Modul 291
4.2.16 AI untuk Menyusun Modul Berbasis Diferensiasi 292
4.2.17 AI untuk Menyusun Buku Ajar atau Modul Berbasis Konteks 292
4.2.18 AI untuk Penyuntingan Buku Ajar dan Modul 292
4.2.19 Validasi Buku Ajar dan Modul Berbantuan AI 293
4.2.20 Tantangan Penyusunan Buku Ajar dan Modul dengan AI 293
4.2.21 Contoh Alur Kerja Penyusunan Modul Kimia dengan AI 294
4.2.22 Contoh Alur Kerja Penyusunan Buku Ajar dengan AI 295
4.2.23 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 295
4.3 AI untuk Mengembangkan Handout dan Bahan Pengayaan 296
4.3.1 Hakikat Handout dalam Pembelajaran Kimia 297
4.3.2 Fungsi Handout dalam Pembelajaran Kimia 298
4.3.3 Prinsip Mengembangkan Handout Kimia dengan AI 298
4.3.4 Prompt untuk Membuat Handout Konseptual 299
4.3.5 Prompt untuk Membuat Handout Prosedural 300
4.3.6 Prompt untuk Membuat Handout Berbasis Data 300
4.3.7 Prompt untuk Membuat Handout Berbasis Representasi Kimia 301
4.3.8 AI untuk Mengembangkan Bahan Pengayaan Kimia 301

4.3.9 Prinsip Bahan Pengayaan Berbantuan AI 302
4.3.10 Prompt untuk Bahan Pengayaan Berbasis Studi Kasus 303
4.3.11 Prompt untuk Bahan Pengayaan Berbasis Isu Sosiosaintifik 303
4.3.12 Prompt untuk Bahan Pengayaan Berbasis Literasi AI 304
4.3.13 AI untuk Membuat Bahan Pengayaan Berbasis Proyek Mini 304
4.3.14 AI untuk Menyusun Bahan Pengayaan Berbasis Bacaan Populer Ilmiah 305
4.3.15 AI untuk Menyusun Handout Remedial-Pengayaan Berpasangan 305
4.3.16 AI untuk Menyusun Format Handout yang Efektif 305
4.3.17 Validasi Handout dan Bahan Pengayaan Berbantuan AI 306
4.3.18 Tantangan Pengembangan Handout dan Pengayaan dengan AI 307
4.3.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 307
4.4 AI untuk Penyusunan LKPD dan Lembar Aktivitas Peserta Didik 308
4.4.1 Hakikat LKPD dalam Pembelajaran Kimia 308
4.4.2 Komponen Utama LKPD Kimia 309
4.4.3 AI untuk Menyusun LKPD Inkuiri Terbimbing 310
4.4.4 AI untuk Menyusun LKPD Praktikum Kimia 311
4.4.5 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis Simulasi 311
4.4.6 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis Masalah 312
4.4.7 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis Proyek 313
4.4.8 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis STEM 313
4.4.9 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis Argumentasi Ilmiah 314
4.4.10 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis Representasi Kimia 314
4.4.11 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis Literasi Sains 315
4.4.12 AI untuk Menyusun LKPD Remedial 315
4.4.13 AI untuk Menyusun LKPD Pengayaan 316
4.4.14 AI untuk Menyusun Pertanyaan Analisis dalam LKPD 316
4.4.15 AI untuk Menyusun Tabel Data dan Format Jawaban LKPD 317
4.4.16 AI untuk Menyusun Rubrik LKPD 318
4.4.17 AI untuk Menyusun Refleksi dalam LKPD 318
4.4.18 Validasi LKPD Berbantuan AI 318
4.4.19 Tantangan Penyusunan LKPD dengan AI 319
4.4.20 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 319
4.5 AI untuk Membuat Infografik, Slide, dan Media Visual Kimia 320

4.5.1 Hakikat Media Visual dalam Pembelajaran Kimia 321
4.5.2 Prinsip Desain Visual Kimia Berbantuan AI 321
4.5.3 AI untuk Membuat Rancangan Infografik Kimia 322
4.5.4 AI untuk Membuat Slide Pembelajaran Kimia 323
4.5.5 AI untuk Membuat Diagram Partikel 324
4.5.6 AI untuk Membuat Diagram Energi 324
4.5.7 AI untuk Membuat Grafik dan Visualisasi Data Kimia 325
4.5.8 AI untuk Membuat Tabel Perbandingan Visual 325
4.5.9 AI untuk Membuat Peta Konsep Visual 326
4.5.10 AI untuk Membuat Media Visual Berbasis Miskonsepsi 326
4.5.11 AI untuk Membuat Storyboard Animasi Kimia 327
4.5.12 AI untuk Membuat Naskah Slide Interaktif 327
4.5.13 AI untuk Mendesain Media Visual Remedial 328
4.5.14 AI untuk Mendesain Media Visual Pengayaan 328
4.5.15 AI untuk Membuat Prompt Gambar Kimia yang Aman dan Akurat 329
4.5.16 AI untuk Menyusun Rubrik Media Visual Kimia 329
4.5.17 Validasi Media Visual Kimia Berbantuan AI 330
4.5.18 Tantangan Penggunaan AI untuk Media Visual Kimia 330
4.5.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 331
4.6 AI untuk Menyusun Peta Konsep dan Glosarium Kimia 332
4.6.1 Hakikat Peta Konsep dalam Pembelajaran Kimia 332
4.6.2 Fungsi Peta Konsep dalam Bahan Ajar Kimia 333
4.6.3 AI untuk Menyusun Peta Konsep Guru 334
4.6.4 AI untuk Menyusun Peta Konsep Siswa 334
4.6.5 AI untuk Membuat Peta Konsep Berbasis Miskonsepsi 335
4.6.6 AI untuk Menyusun Peta Konsep Berbasis Tiga Level Representasi 335
4.6.7 AI untuk Menyusun Glosarium Kimia 336
4.6.8 Prinsip Menyusun Glosarium Kimia Berbantuan AI 336
4.6.9 AI untuk Membuat Glosarium Per Bab 337
4.6.10 AI untuk Membuat Glosarium Tematik 337
4.6.11 AI untuk Membuat Glosarium Alfabetis 338
4.6.12 AI untuk Membuat Glosarium Berbasis Miskonsepsi 338
4.6.13 AI untuk Menyusun Glosarium Bilingual atau Multibahasa 339

4.6.14 AI untuk Menghubungkan Peta Konsep dan Glosarium 339
4.6.15 AI untuk Menyusun Aktivitas Belajar Berbasis Peta Konsep 340
4.6.16 AI untuk Menyusun Aktivitas Belajar Berbasis Glosarium 340
4.6.17 Rubrik Penilaian Peta Konsep dan Glosarium 340
4.6.18 Validasi Peta Konsep dan Glosarium Berbantuan AI 341
4.6.19 Tantangan Penyusunan Peta Konsep dan Glosarium dengan AI 341
4.6.20 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 342
4.7 AI untuk Membuat Rangkuman Konsep dan Materi Remedial 342
4.7.1 Hakikat Rangkuman Konsep dalam Pembelajaran Kimia 343
4.7.2 Fungsi Rangkuman Konsep dalam Bahan Ajar Kimia 344
4.7.3 AI untuk Membuat Rangkuman Naratif 344
4.7.4 AI untuk Membuat Rangkuman Poin-Poin Inti 345
4.7.5 AI untuk Membuat Rangkuman Tabel 345
4.7.6 AI untuk Membuat Rangkuman Berbasis Peta Konsep 346
4.7.7 AI untuk Membuat Rangkuman Berbasis Pertanyaan 346
4.7.8 AI untuk Membuat Rangkuman Visual 347
4.7.9 Hakikat Materi Remedial dalam Pembelajaran Kimia 347
4.7.10 AI untuk Membuat Remedial Berbasis Miskonsepsi 348
4.7.11 AI untuk Membuat Remedial Berbasis Prasyarat 348
4.7.12 AI untuk Membuat Remedial Prosedural 349
4.7.13 AI untuk Membuat Remedial Representasi Kimia 349
4.7.14 AI untuk Membuat Remedial Berbasis Data Asesmen 350
4.7.15 AI untuk Membuat Remedial Adaptif 350
4.7.16 AI untuk Membuat Latihan Remedial Bertahap 351
4.7.17 AI untuk Membuat Umpan Balik Remedial 351
4.7.18 Validasi Rangkuman dan Materi Remedial Berbantuan AI 352
4.7.19 Tantangan Penggunaan AI untuk Rangkuman dan Remedial 352
4.7.20 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 353
4.8 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual 353
4.8.1 Hakikat Bahan Ajar Kontekstual dalam Kimia 354
4.8.2 Prinsip Pengembangan Bahan Ajar Kontekstual Berbantuan AI 355
4.8.3 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Kehidupan Sehari-hari 356
4.8.4 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Lingkungan 356

4.8.5 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Teknologi dan Industri 357
4.8.6 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Pangan 357
4.8.7 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Kesehatan secara Aman 358
4.8.8 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Lokal 358
4.8.9 AI untuk Mengembangkan Studi Kasus Kontekstual 359
4.8.10 AI untuk Mengembangkan Soal Berbasis Konteks 359
4.8.11 AI untuk Mengembangkan LKPD Kontekstual 360
4.8.12 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Isu Sosiosaintifik 360
4.8.13 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Literasi Data 361
4.8.14 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Proyek 361
4.8.15 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual dengan Diferensiasi 362
4.8.16 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Nilai dan Etika 362
4.8.17 Validasi Bahan Ajar Kontekstual Berbantuan AI 362
4.8.18 Tantangan Pengembangan Bahan Ajar Kontekstual dengan AI 363
4.8.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 363
4.9 Validasi Akurasi Konsep dalam Bahan Ajar Berbantuan AI 364
4.9.1 Hakikat Validasi Akurasi Konsep Kimia 365
4.9.2 Jenis Kesalahan Konsep yang Sering Muncul dalam Bahan Ajar AI 365
4.9.3 Area Konsep Kimia yang Perlu Validasi Ketat 366
4.9.4 Validasi Istilah dan Definisi 367
4.9.5 Validasi Persamaan Reaksi, Rumus, dan Simbol 367
4.9.6 Validasi Representasi Makroskopik, Submikroskopik, dan Simbolik 368
4.9.7 Validasi Analogi dan Penyederhanaan 369
4.9.8 Validasi Visual dan Gambar Kimia 369
4.9.9 Validasi Soal, Kunci, dan Pembahasan 370
4.9.10 Validasi Aktivitas Praktikum dan Eksperimen 371
4.9.11 Validasi Klaim dalam Bahan Ajar Kontekstual 371
4.9.12 Validasi Sumber dan Referensi 372
4.9.13 Instrumen Validasi Konsep Bahan Ajar Berbantuan AI 373
4.9.14 Prosedur Validasi Bertahap 373
4.9.15 Prompt untuk Membantu Validasi Konsep 374
4.9.16 Dokumentasi Validasi dan Revisi 374
4.9.17 Validasi oleh Siswa melalui Umpan Balik Keterbacaan 375

4.9.18 Tantangan Validasi Bahan Ajar Berbantuan AI 375
4.9.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 376
4.9.20 Prinsip Akhir Validasi Bahan Ajar AI 376
4.10 Peran Guru sebagai Kurator, Editor, dan Validator Bahan Ajar AI 377
4.10.1 Guru sebagai Kurator Bahan Ajar AI 377
4.10.2 Guru sebagai Editor Bahasa dan Struktur 378
4.10.3 Guru sebagai Editor Representasi Kimia 378
4.10.4 Guru sebagai Validator Konsep Kimia 379
4.10.5 Guru sebagai Validator Keselamatan Praktikum 379
4.10.6 Guru sebagai Validator Asesmen 380
4.10.7 Guru sebagai Kurator Sumber dan Referensi 380
4.10.8 Guru sebagai Perancang Prompt yang Bertanggung Jawab 381
4.10.9 Guru sebagai Pengendali Etika Penggunaan AI 381
4.10.10 Guru sebagai Desainer Pembelajaran yang Humanis 382
4.10.11 Guru sebagai Penghubung AI dengan Kurikulum 382
4.10.12 Guru sebagai Penjamin Koherensi Bahan Ajar 383
4.10.13 Guru sebagai Pengembang Literasi AI Siswa 383
4.10.14 Guru sebagai Fasilitator Kolaborasi Manusia-AI 384
4.10.15 Kompetensi Guru dalam Mengelola Bahan Ajar AI 384
4.10.16 Model Kerja Guru dalam Mengelola Bahan Ajar AI 384
4.10.17 Dokumentasi Peran Guru dalam Bahan Ajar AI 385
4.10.18 Tantangan Peran Guru dalam Era AI 385
4.10.19 Implikasi bagi Pendidikan Calon Guru Kimia 386
4.10.20 Prinsip Profesional Guru dalam Menggunakan Bahan Ajar AI 386
Simpulan Bab 4 387
Daftar Pustaka Bab 4 389
BAB 5 391
AI untuk Visualisasi dan Representasi Konsep Kimia 391
5.1 Urgensi Visualisasi dalam Pembelajaran Kimia 391
5.1.1 Kimia sebagai Ilmu Multirepresentasional 392
5.1.2 Visualisasi sebagai Jembatan antara Abstraksi dan Pemahaman 392
5.1.3 Visualisasi dan Pembentukan Model Mental 393
5.1.4 Visualisasi untuk Mengurangi Beban Kognitif 394

5.1.5 Visualisasi untuk Menghubungkan Konsep dan Data 394
5.1.6 Visualisasi untuk Mencegah dan Mengatasi Miskonsepsi 395
5.1.7 AI sebagai Alat Bantu Desain Visual Kimia 395
5.1.8 Batasan AI dalam Visualisasi Kimia 396
5.1.9 Kriteria Visualisasi Kimia yang Baik 396
5.1.10 Visualisasi sebagai Aktivitas Belajar, Bukan Sekadar Media Tayang 397
5.1.11 Visualisasi dalam Pembelajaran Berbasis Inkuiri dan Praktikum 397
5.1.12 Visualisasi dalam Pembelajaran Kimia Komputasi Edukatif 398
5.1.13 Visualisasi dan Literasi AI 398
5.1.14 Peran Guru dalam Visualisasi Kimia Berbantuan AI 399
5.1.15 Implikasi bagi Pembelajaran Kimia 399
5.2 AI untuk Menjelaskan Struktur Atom dan Konfigurasi Elektron 400
5.2.1 Struktur Atom sebagai Dasar Pemahaman Kimia 401
5.2.2 Perkembangan Model Atom dan Fungsi Visualisasi 401
5.2.3 Risiko Miskonsepsi Model Atom Planetary 402
5.2.4 Konfigurasi Elektron sebagai Jembatan ke Tabel Periodik 402
5.2.5 AI untuk Menjelaskan Aturan Aufbau, Larangan Pauli, dan Kaidah Hund 403
5.2.6 Visualisasi Orbital dan Batasnya 404
5.2.7 AI untuk Membuat Diagram Tingkat Energi 404
5.2.8 AI untuk Menghubungkan Konfigurasi Elektron dengan Elektron Valensi 405
5.2.9 AI untuk Menjelaskan Hubungan Konfigurasi Elektron dan Sifat Periodik 406
5.2.10 AI untuk Menyusun Aktivitas Visual Konfigurasi Elektron 406
5.2.11 AI untuk Membuat Soal Diagnostik Struktur Atom 407
5.2.12 AI untuk Membuat Materi Remedial Struktur Atom 407
5.2.13 AI untuk Membuat Visualisasi Struktur Atom yang Aman secara Konsep 408
5.2.14 AI untuk Membantu Guru Membuat Analogi Terbatas 408
5.2.15 AI untuk Menghubungkan Struktur Atom dengan Konsep Lanjutan 409
5.2.16 Validasi Penjelasan AI tentang Struktur Atom 409
5.2.17 Contoh Prompt Lengkap untuk Bahan Ajar Struktur Atom 410
5.2.18 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 410
5.3 AI untuk Memvisualisasikan Ikatan Kimia 411
5.3.1 Ikatan Kimia sebagai Konsep Penghubung Struktur dan Sifat Zat 412
5.3.2 AI untuk Memvisualisasikan Ikatan Ion 412

5.3.3 AI untuk Memvisualisasikan Ikatan Kovalen 413
5.3.4 AI untuk Memvisualisasikan Kovalen Polar dan Nonpolar 414
5.3.5 AI untuk Memvisualisasikan Ikatan Logam 415
5.3.6 AI untuk Membandingkan Ikatan Ion, Kovalen, dan Logam 415
5.3.7 AI untuk Menjelaskan Spektrum Karakter Ikatan 416
5.3.8 AI untuk Memvisualisasikan Struktur Lewis 416
5.3.9 AI untuk Menjelaskan Resonansi secara Visual 417
5.3.10 AI untuk Memvisualisasikan Hubungan Ikatan dan Energi 418
5.3.11 AI untuk Memvisualisasikan Ikatan Koordinasi 418
5.3.12 AI untuk Memvisualisasikan Jaringan Kovalen 419
5.3.13 AI untuk Menghubungkan Ikatan Kimia dengan Sifat Fisik Zat 419
5.3.14 AI untuk Menyusun Animasi Konseptual Pembentukan Ikatan 420
5.3.15 AI untuk Membuat Asesmen Visual Ikatan Kimia 421
5.3.16 AI untuk Mengembangkan Aktivitas Koreksi Miskonsepsi Ikatan Kimia 421
5.3.17 Validasi Visualisasi Ikatan Kimia Berbantuan AI 422
5.3.18 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 422
5.4 AI untuk Menjelaskan Geometri Molekul dan Teori VSEPR 423
5.4.1 Pentingnya Geometri Molekul dalam Pembelajaran Kimia 424
5.4.2 Hakikat Teori VSEPR 424
5.4.3 Geometri Domain Elektron dan Bentuk Molekul 425
5.4.4 AI untuk Menyusun Visual Bentuk Molekul Dasar 426
5.4.5 AI untuk Menjelaskan Sudut Ikatan dan Pengaruh Pasangan Elektron Bebas 426
5.4.6 AI untuk Menjelaskan Polaritas Molekul melalui Geometri 427
5.4.7 AI untuk Menyusun Aktivitas Prediksi Bentuk Molekul 428
5.4.8 AI untuk Membuat Model Tiga Dimensi Molekul 428
5.4.9 AI untuk Menjelaskan Perbedaan Struktur Lewis, Geometri, dan Model Molekul 429
5.4.10 AI untuk Mengatasi Miskonsepsi Geometri Molekul 429
5.4.11 AI untuk Membuat Soal Visual Geometri Molekul 430
5.4.12 AI untuk Membuat Simulasi Naratif VSEPR 431
5.4.13 AI untuk Menghubungkan VSEPR dengan Hibridisasi secara Hati-hati 431
5.4.14 AI untuk Menghubungkan Geometri Molekul dengan Gaya Antarmolekul 432
5.4.15 AI untuk Visualisasi Geometri Molekul dalam Kimia Organik 432
5.4.16 Validasi Visualisasi Geometri Molekul Berbantuan AI 433

5.4.17 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 433
5.5 AI untuk Memahami Gaya Antarmolekul 434
5.5.1 Hakikat Gaya Antarmolekul 435
5.5.2 Membedakan Gaya Intramolekul dan Antarmolekul 436
5.5.3 AI untuk Memvisualisasikan Gaya Dispersi London 436
5.5.4 AI untuk Memvisualisasikan Gaya Dipol-Dipol 437
5.5.5 AI untuk Menjelaskan Ikatan Hidrogen secara Tepat 437
5.5.6 AI untuk Menjelaskan Gaya Ion-Dipol dan Pelarutan Senyawa Ionik 438
5.5.7 Hubungan Gaya Antarmolekul dengan Titik Didih dan Titik Leleh 439
5.5.8 Hubungan Gaya Antarmolekul dengan Kelarutan 439
5.5.9 Hubungan Gaya Antarmolekul dengan Viskositas dan Tegangan Permukaan 440
5.5.10 AI untuk Menyusun Infografik Gaya Antarmolekul 440
5.5.11 AI untuk Menyusun LKPD Visual Gaya Antarmolekul 441
5.5.12 AI untuk Membuat Animasi Konseptual Gaya Antarmolekul 441
5.5.13 AI untuk Mengembangkan Aktivitas Koreksi Miskonsepsi Gaya Antarmolekul 442
5.5.14 AI untuk Membuat Soal Asesmen Gaya Antarmolekul 442
5.5.15 AI untuk Menghubungkan Gaya Antarmolekul dengan Kimia Biologi dan Material 443
5.5.16 Validasi Visualisasi Gaya Antarmolekul Berbantuan AI 444
5.5.17 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 444
5.6 AI untuk Menjelaskan Reaksi Kimia dan Persamaan Reaksi 445
5.6.1 Reaksi Kimia sebagai Perubahan Susunan Atom 445
5.6.2 Makna Persamaan Reaksi Kimia 446
5.6.3 AI untuk Menjelaskan Penyetaraan Persamaan Reaksi 447
5.6.4 Kesalahan Umum dalam Penyetaraan Reaksi 447
5.6.5 AI untuk Memvisualisasikan Hukum Kekekalan Massa 448
5.6.6 AI untuk Menjelaskan Jenis-Jenis Reaksi Kimia 448
5.6.7 AI untuk Menjelaskan Reaksi Pengendapan dan Persamaan Ion Bersih 449
5.6.8 AI untuk Menjelaskan Reaksi Asam-Basa 450
5.6.9 AI untuk Menjelaskan Reaksi Redoks 450
5.6.10 AI untuk Menjelaskan Persamaan Reaksi dan Stoikiometri 451
5.6.11 AI untuk Menjelaskan Simbol Fase dalam Reaksi Kimia 452
5.6.12 AI untuk Membuat Animasi Reaksi Kimia 452
5.6.13 AI untuk Membuat Latihan Bertahap Persamaan Reaksi 453

5.6.14 AI untuk Membuat Soal Diagnostik Reaksi Kimia 453
5.6.15 AI untuk Memberikan Umpan Balik Kesalahan Penyetaraan 454
5.6.16 AI untuk Menghubungkan Reaksi Kimia dengan Representasi Partikel 454
5.6.17 AI untuk Menjelaskan Reaksi Kimia dalam Konteks Kehidupan 455
5.6.18 Validasi Persamaan Reaksi Berbantuan AI 455
5.6.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 456
5.7 AI untuk Memahami Mekanisme Reaksi Kimia 456
5.7.1 Makna Mekanisme Reaksi dalam Kimia 457
5.7.2 Mekanisme sebagai Jembatan antara Struktur dan Reaktivitas 458
5.7.3 AI untuk Menjelaskan Tahapan Elementer 458
5.7.4 AI untuk Memvisualisasikan Keadaan Transisi dan Energi Aktivasi 459
5.7.5 AI untuk Menjelaskan Peran Katalis dalam Mekanisme Reaksi 459
5.7.6 AI untuk Menjelaskan Panah Elektron dalam Mekanisme Organik 460
5.7.7 AI untuk Menjelaskan Nukleofil dan Elektrofil 461
5.7.8 AI untuk Menjelaskan Mekanisme Reaksi Asam-Basa 461
5.7.9 AI untuk Menjelaskan Mekanisme Substitusi Sederhana 462
5.7.10 AI untuk Menjelaskan Mekanisme Adisi pada Ikatan Rangkap 462
5.7.11 AI untuk Menjelaskan Mekanisme Reaksi Redoks 463
5.7.12 AI untuk Menjelaskan Mekanisme Reaksi Pengendapan 463
5.7.13 AI untuk Menjelaskan Mekanisme pada Level Energi 464
5.7.14 AI untuk Membuat Aktivitas Koreksi Miskonsepsi Mekanisme 464
5.7.15 AI untuk Membuat Soal Asesmen Mekanisme Reaksi 465
5.7.16 AI untuk Menyusun Visual Mekanisme yang Aman secara Konsep 466
5.7.17 Validasi Mekanisme Reaksi Berbantuan AI 467
5.7.18 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 467
5.8 AI untuk Visualisasi Kimia Organik dan Model Molekul 468
5.8.1 Urgensi Visualisasi dalam Kimia Organik 468
5.8.2 AI untuk Memvisualisasikan Struktur Molekul Organik 469
5.8.3 AI untuk Menjelaskan Struktur Garis (Skeletal Formula) 470
5.8.4 AI untuk Memahami Geometri Karbon sp, sp^2, dan sp^3 470
5.8.5 AI untuk Memvisualisasikan Isomer Struktur 471
5.8.6 AI untuk Memvisualisasikan Stereoisomer 471
5.8.7 AI untuk Menjelaskan Karbon Kiral dan Aktivitas Optik 472

5.8.8 AI untuk Memvisualisasikan Konformasi Molekul 472
5.8.9 AI untuk Visualisasi Reaksi Organik 473
5.8.10 AI untuk Menjelaskan Hubungan Struktur dan Sifat 473
5.8.11 AI untuk Model Molekul dalam Pembelajaran Kimia Organik 474
5.8.12 AI untuk Menghubungkan Kimia Organik dengan Kimia Komputasi 474
5.8.13 AI untuk Membuat LKPD Visual Kimia Organik 475
5.8.14 AI untuk Mengatasi Miskonsepsi dalam Kimia Organik 475
5.8.15 Validasi Visualisasi Kimia Organik Berbantuan AI 475
5.8.16 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 476
5.9 AI dalam Pemodelan Konsep Kimia Komputasi Edukatif 477
5.9.1 Hakikat Kimia Komputasi Edukatif 477
5.9.2 Peran AI dalam Menjelaskan Model Molekul 478
5.9.3 AI untuk Menjelaskan Optimasi Geometri Molekul 479
5.9.4 AI untuk Memahami Energi Relatif Konformer 479
5.9.5 AI untuk Menjelaskan Permukaan Potensial Elektrostatik 480
5.9.6 AI untuk Menjelaskan Orbital Molekul secara Edukatif 481
5.9.7 AI untuk Pemodelan Interaksi Antarmolekul 481
5.9.8 AI dalam Simulasi Dinamika Molekul Edukatif 482
5.9.9 AI untuk Menjelaskan Spektrum Molekul secara Konseptual 483
5.9.10 AI untuk Mengembangkan Aktivitas Pemodelan Molekul Sederhana 483
5.9.11 AI untuk Pembelajaran Kimia Komputasi Berbasis Proyek 484
5.9.12 AI untuk Menghubungkan Kimia Komputasi dengan Kimia Organik 484
5.9.13 AI untuk Menjelaskan Keterbatasan Model Komputasi 485
5.9.14 AI untuk Membuat Rubrik Pemodelan Kimia Komputasi Edukatif 485
5.9.15 AI untuk Mengembangkan Asesmen Pemodelan Konsep Kimia Komputasi 486
5.9.16 AI untuk Membangun Literasi Data Komputasi 487
5.9.17 Validasi Pemodelan Kimia Komputasi Berbantuan AI 487
5.9.18 Risiko Miskonsepsi dalam Kimia Komputasi Edukatif 488
5.9.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 488
5.10 Risiko Miskonsepsi dalam Visualisasi AI dan Cara Memvalidasinya 489
5.10.1 Mengapa Visual AI Rentan Menimbulkan Miskonsepsi 489
5.10.2 Miskonsepsi Visual pada Struktur Atom 490
5.10.3 Miskonsepsi Visual pada Ikatan Kimia 491

5.10.4 Miskonsepsi Visual pada Geometri Molekul dan VSEPR 491
5.10.5 Miskonsepsi Visual pada Gaya Antarmolekul 492
5.10.6 Miskonsepsi Visual pada Reaksi Kimia dan Persamaan Reaksi 493
5.10.7 Miskonsepsi Visual pada Mekanisme Reaksi 494
5.10.8 Miskonsepsi Visual pada Kimia Organik dan Stereokimia 494
5.10.9 Miskonsepsi Visual pada Kimia Komputasi Edukatif 495
5.10.10 Prinsip Validasi Visual AI dalam Pembelajaran Kimia 496
5.10.11 Daftar Cek Validasi Visual AI Kimia 497
5.10.12 Prompt untuk Membantu Validasi Visual AI 497
5.10.13 Caption sebagai Alat Pencegah Miskonsepsi 498
5.10.14 Validasi Visual Melalui Pertanyaan Siswa 499
5.10.15 Strategi Menggunakan Visual AI secara Aman 499
5.10.16 Dokumentasi Validasi Visual AI 500
5.10.17 Peran Guru sebagai Validator Visual AI 500
5.10.18 Implikasi bagi Calon Guru Kimia 501
5.10.19 Kerangka Kerja Validasi: Cek–Bandingkan–Revisi–Uji 501
5.10.20 Prinsip Akhir Penggunaan Visual AI dalam Kimia 502
Simpulan Bab 5 502
Daftar Pustaka Bab 5 504
BAB 6 506
AI untuk Praktikum Kimia dan Virtual Laboratory 506
6.1 Karakteristik Praktikum Kimia dalam Pembelajaran Sains 506
6.1.1 Praktikum Kimia sebagai Aktivitas Ilmiah Berbasis Bukti 506
6.1.2 Praktikum Kimia sebagai Penghubung Tiga Level Representasi 507
6.1.3 Praktikum sebagai Sarana Mengembangkan Keterampilan Proses Sains 508
6.1.4 Praktikum Kimia sebagai Pembelajaran Berbasis Inkuiri 508
6.1.5 Praktikum sebagai Pengalaman Sensorik dan Motorik 509
6.1.6 Praktikum sebagai Sarana Pembentukan Sikap Ilmiah 509
6.1.7 Praktikum Kimia dan Keselamatan Laboratorium 510
6.1.8 Praktikum sebagai Sarana Pembelajaran Kolaboratif 510
6.1.9 Praktikum Kimia dan Literasi Data 511
6.1.10 Praktikum Kimia sebagai Konteks Pembelajaran Bermakna 512
6.1.11 Praktikum Nyata, Simulasi, dan Virtual Laboratory 512

6.1.12 Karakteristik Praktikum Kimia yang Baik 513
6.1.13 Tantangan Praktikum Kimia di Sekolah dan Perguruan Tinggi 513
6.1.14 Peran AI dalam Memperkuat Karakter Praktikum Kimia 513
6.1.15 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia 514
6.2 Peran AI dalam Merancang Praktikum Kimia 515
6.2.1 AI sebagai Asisten Desain Praktikum Berbasis Tujuan 515
6.2.2 AI untuk Mengembangkan Alternatif Praktikum pada Satu Konsep 516
6.2.3 AI untuk Menentukan Model Praktikum yang Tepat 517
6.2.4 AI untuk Menyusun Rancangan Pra-Laboratorium 517
6.2.5 AI untuk Merancang Pertanyaan Pemantik dan Hipotesis 518
6.2.6 AI untuk Merancang Identifikasi Variabel 519
6.2.7 AI untuk Merancang Prosedur Praktikum yang Bertahap 519
6.2.8 AI untuk Memetakan Risiko Keselamatan Praktikum 520
6.2.9 AI untuk Menyusun Tabel Pengamatan 520
6.2.10 AI untuk Merancang Analisis Data Praktikum 521
6.2.11 AI untuk Merancang Pertanyaan Reflektif Pasca-Praktikum 522
6.2.12 AI untuk Menyusun Rubrik Penilaian Praktikum 522
6.2.13 AI untuk Merancang Praktikum Diferensiatif 523
6.2.14 AI untuk Merancang Alternatif Praktikum jika Alat-Bahan Terbatas 523
6.2.15 AI untuk Merancang Integrasi Virtual Laboratory 524
6.2.16 AI untuk Menyusun Skenario Praktikum Berbasis Masalah 524
6.2.17 AI untuk Merancang Praktikum Berbasis STEM 525
6.2.18 AI untuk Merancang Dokumentasi Praktikum 525
6.2.19 Validasi Rancangan Praktikum Berbantuan AI 526
6.2.20 Prinsip Akhir Peran AI dalam Merancang Praktikum Kimia 526
6.3 AI untuk Menyusun Prosedur Eksperimen yang Aman dan Edukatif 527
6.3.1 Prosedur Eksperimen sebagai Rancangan Pedagogis dan Keselamatan 527
6.3.2 Prinsip Dasar Prosedur Eksperimen yang Aman 528
6.3.3 Prinsip Dasar Prosedur Eksperimen yang Edukatif 529
6.3.4 AI untuk Menyusun Format Prosedur Eksperimen 529
6.3.5 AI untuk Menyesuaikan Prosedur dengan Jenjang Peserta Didik 530
6.3.6 AI untuk Memilih Alat dan Bahan yang Aman 531
6.3.7 AI untuk Mengatur Urutan Langkah Eksperimen 531

6.3.8 AI untuk Menyusun Instruksi yang Jelas dan Tidak Ambigu 532
6.3.9 AI untuk Menyusun Tabel Pengamatan yang Sesuai Prosedur 533
6.3.10 AI untuk Menyusun Pertanyaan Analisis yang Mengarah pada Konsep 533
6.3.11 AI untuk Menyusun Prosedur dengan Pengulangan dan Kontrol 534
6.3.12 AI untuk Menyusun Prosedur Pembersihan Alat dan Pengelolaan Limbah 534
6.3.13 AI untuk Menyusun Prosedur Praktikum Berbasis Inkuiri Terbimbing 535
6.3.14 AI untuk Menyusun Prosedur Eksperimen Berbasis Simulasi Pra-Lab 535
6.3.15 AI untuk Menyusun Prosedur Alternatif Jika Praktikum Nyata Tidak Memungkinkan 536
6.3.16 AI untuk Mengembangkan Prosedur yang Mengantisipasi Miskonsepsi 536
6.3.17 AI untuk Menyusun Prosedur yang Memuat Diferensiasi 537
6.3.18 AI untuk Menyusun Prosedur yang Memperhatikan Etika Data 537
6.3.19 Validasi Prosedur Eksperimen Berbantuan AI 538
6.3.20 Prinsip Akhir Menyusun Prosedur Eksperimen dengan AI 539
6.4 AI untuk Simulasi Laboratorium dan Virtual Laboratory 539
6.4.1 Pengertian Simulasi Laboratorium dan Virtual Laboratory 540
6.4.2 Fungsi Pedagogis Virtual Laboratory dalam Kimia 540
6.4.3 Keunggulan Virtual Laboratory Berbantuan AI 541
6.4.4 Keterbatasan Virtual Laboratory 542
6.4.5 AI untuk Mendesain Skenario Virtual Laboratory 542
6.4.6 AI untuk Simulasi Pra-Laboratorium 543
6.4.7 AI untuk Simulasi Konsep Submikroskopik 543
6.4.8 AI untuk Simulasi Laju Reaksi 544
6.4.9 AI untuk Simulasi Kesetimbangan Kimia 545
6.4.10 AI untuk Simulasi Asam-Basa dan Titrasi 545
6.4.11 AI untuk Simulasi Elektrokimia 546
6.4.12 AI untuk Simulasi Larutan dan Kelarutan 546
6.4.13 AI untuk Simulasi Praktikum Berbahaya atau Sulit 547
6.4.14 AI sebagai Tutor dalam Virtual Laboratory 547
6.4.15 AI untuk Umpan Balik Adaptif pada Virtual Laboratory 548
6.4.16 AI untuk Menyusun LKPD Virtual Laboratory 548
6.4.17 AI untuk Membandingkan Data Simulasi dan Data Praktikum Nyata 549
6.4.18 AI untuk Asesmen dalam Virtual Laboratory 549
6.4.19 Validasi Simulasi dan Virtual Laboratory Berbantuan AI 550

6.4.20 Prinsip Integrasi AI, Simulasi, dan Praktikum Nyata 551
6.5 AI untuk Pengembangan LKPD Praktikum Berbasis Inkuiri 551
6.5.1 Hakikat LKPD Praktikum Berbasis Inkuiri 552
6.5.2 Perbedaan LKPD Resep dan LKPD Inkuiri 552
6.5.3 Struktur Ideal LKPD Praktikum Berbasis Inkuiri 553
6.5.4 AI untuk Menyusun Fenomena Pemantik 554
6.5.5 AI untuk Merumuskan Pertanyaan Investigatif 555
6.5.6 AI untuk Membantu Siswa Membuat Prediksi dan Hipotesis 555
6.5.7 AI untuk Membimbing Identifikasi Variabel 556
6.5.8 AI untuk Menyusun Prosedur Inkuiri Terbimbing 557
6.5.9 AI untuk Menyusun Tabel Data yang Mendukung Inkuiri 557
6.5.10 AI untuk Menyusun Pertanyaan Analisis Berbasis Data 558
6.5.11 AI untuk Mengintegrasikan Representasi Kimia dalam LKPD 558
6.5.12 AI untuk Menyusun Pertanyaan HOTS dalam LKPD Praktikum 559
6.5.13 AI untuk Menyusun Refleksi Miskonsepsi 559
6.5.14 AI untuk Menyusun Kesimpulan Berbasis Bukti 560
6.5.15 AI untuk Menyusun Rubrik LKPD Praktikum Inkuiri 560
6.5.16 AI untuk Mengembangkan LKPD Inkuiri Diferensiatif 561
6.5.17 AI untuk Mengintegrasikan Virtual Laboratory dalam LKPD Inkuiri 561
6.5.18 AI untuk Menyusun LKPD Praktikum dengan Bahan Sederhana 562
6.5.19 Validasi LKPD Praktikum Berbasis AI 562
6.5.20 Prinsip Akhir Pengembangan LKPD Inkuiri Berbantuan AI 563
6.6 AI untuk Analisis Data Praktikum 564
6.6.1 Analisis Data sebagai Inti Praktikum Ilmiah 564
6.6.2 AI untuk Merapikan dan Mengorganisasi Data Praktikum 565
6.6.3 AI untuk Menghitung Rata-Rata, Selisih, dan Laju Relatif 565
6.6.4 AI untuk Membuat Grafik Data Praktikum 566
6.6.5 AI untuk Mengidentifikasi Pola Data 567
6.6.6 AI untuk Membantu Interpretasi Data Kualitatif 567
6.6.7 AI untuk Membandingkan Data dengan Hipotesis 568
6.6.8 AI untuk Mengidentifikasi Data Menyimpang 569
6.6.9 AI untuk Analisis Sumber Kesalahan Eksperimen 569
6.6.10 AI untuk Membantu Analisis Ketidakpastian Sederhana 570

6.6.11 AI untuk Menghubungkan Data dengan Konsep Kimia 570
6.6.12 AI untuk Membantu Menulis Klaim-Bukti-Penalaran 571
6.6.13 AI untuk Membantu Interpretasi Hasil yang Tidak Sesuai Teori 572
6.6.14 AI untuk Membantu Analisis Data Titrasi 572
6.6.15 AI untuk Membantu Analisis Data Spektrofotometri Sederhana 573
6.6.16 AI untuk Membantu Analisis Data pH dan Asam-Basa 574
6.6.17 AI untuk Membantu Analisis Data Elektrolit 574
6.6.18 AI untuk Membantu Analisis Data Reaksi Pengendapan 575
6.6.19 AI untuk Memberi Umpan Balik terhadap Analisis Siswa 575
6.6.20 Etika Penggunaan AI dalam Analisis Data Praktikum 576
6.7 AI untuk Membantu Interpretasi Tabel, Grafik, dan Hasil Eksperimen 576
6.7.1 Pentingnya Interpretasi Data dalam Praktikum Kimia 577
6.7.2 AI sebagai Asisten Literasi Data 577
6.7.3 AI untuk Membaca Tabel Praktikum 578
6.7.4 AI untuk Membantu Membaca Grafik 579
6.7.5 AI untuk Menentukan Jenis Grafik yang Sesuai 579
6.7.6 AI untuk Membantu Menafsirkan Kurva Titrasi 580
6.7.7 AI untuk Membantu Menafsirkan Grafik Kalibrasi 580
6.7.8 AI untuk Membantu Interpretasi Grafik Laju Reaksi 581
6.7.9 AI untuk Membantu Interpretasi Grafik Kesetimbangan 582
6.7.10 AI untuk Membantu Interpretasi Grafik pH 582
6.7.11 AI untuk Membantu Interpretasi Hasil Eksperimen Kualitatif 583
6.7.12 AI untuk Menghubungkan Hasil Eksperimen dengan Representasi Partikel 583
6.7.13 AI untuk Membantu Mengidentifikasi Hubungan Sebab-Akibat 584
6.7.14 AI untuk Membantu Menilai Kekuatan Kesimpulan 585
6.7.15 AI untuk Membantu Membandingkan Hasil Antarkelompok 585
6.7.16 AI untuk Membantu Interpretasi Data Simulasi dan Data Nyata 586
6.7.17 AI untuk Membantu Interpretasi Hasil yang Tidak Sesuai Prediksi 586
6.7.18 AI untuk Membantu Menulis Interpretasi dalam Format Ilmiah 587
6.7.19 Validasi Interpretasi AI terhadap Data Eksperimen 587
6.7.20 Prinsip Akhir Penggunaan AI untuk Interpretasi Data Praktikum 588
6.8 AI untuk Merancang Alternatif Alat dan Bahan Sederhana 588
6.8.1 Urgensi Alternatif Alat dan Bahan dalam Praktikum Kimia 589

6.8.2 Prinsip Substitusi Aman dalam Praktikum Kimia 590
6.8.3 AI untuk Merancang Praktikum Mikro 590
6.8.4 AI untuk Merancang Alat Uji Elektrolit Sederhana 591
6.8.5 AI untuk Merancang Indikator Alami Asam-Basa 592
6.8.6 AI untuk Merancang Praktikum Laju Reaksi dengan Bahan Sederhana 592
6.8.7 AI untuk Merancang Model Filtrasi dan Pemisahan Campuran 593
6.8.8 AI untuk Merancang Praktikum Korosi Sederhana 594
6.8.9 AI untuk Merancang Praktikum Koloid dan Adsorpsi Sederhana 594
6.8.10 AI untuk Merancang Praktikum Termokimia Sederhana 595
6.8.11 AI untuk Merancang Praktikum Polimer dan Material Sederhana 596
6.8.12 AI untuk Merancang Alat Peraga Molekul Sederhana 596
6.8.13 AI untuk Merancang Alternatif Jika Bahan Kimia Standar Tidak Tersedia 597
6.8.14 AI untuk Merancang Praktikum Berbasis Lingkungan Sekitar 597
6.8.15 AI untuk Mengembangkan Prosedur Hemat Biaya 598
6.8.16 AI untuk Membuat Stasiun Praktikum Sederhana 598
6.8.17 AI untuk Merancang Alternatif Virtual Jika Eksperimen Tidak Aman 599
6.8.18 AI untuk Menyusun Batas Kesimpulan pada Praktikum Sederhana 599
6.8.19 Validasi Alternatif Alat dan Bahan Berbantuan AI 600
6.8.20 Prinsip Akhir Perancangan Alternatif Alat dan Bahan dengan AI 601
6.9 Keselamatan Kerja Laboratorium dalam Praktikum Berbantuan AI 601
6.9.1 Keselamatan sebagai Prinsip Utama Praktikum Kimia 602
6.9.2 Peran AI dalam Identifikasi Risiko Awal 602
6.9.3 AI dan Keterbatasannya dalam Keselamatan Laboratorium 603
6.9.4 SDS sebagai Rujukan Utama Keselamatan Bahan Kimia 604
6.9.5 Keselamatan Bahan Rumah Tangga dalam Praktikum Sederhana 605
6.9.6 Keselamatan dalam Praktikum Menggunakan Listrik 605
6.9.7 Keselamatan dalam Pemanasan dan Penggunaan Api 606
6.9.8 Keselamatan Gas dan Uap dalam Praktikum Kimia 607
6.9.9 Keselamatan Alat Kaca dan Benda Tajam 607
6.9.10 Keselamatan dalam Praktikum Berbasis Bahan Sederhana 608
6.9.11 AI untuk Menyusun Lembar K3 Praktikum 608
6.9.12 AI untuk Menyusun Kuis Keselamatan Pra-Lab 609
6.9.13 AI untuk Menyusun Prosedur Darurat Sederhana 610

6.9.14 AI untuk Menyusun Pengelolaan Limbah Praktikum 610
6.9.15 AI untuk Menilai Kelayakan Praktikum Berdasarkan Risiko 611
6.9.16 AI untuk Membuat Alternatif Lebih Aman 611
6.9.17 AI dan Etika Keselamatan dalam Praktikum 612
6.9.18 Keselamatan dalam Pembelajaran Praktikum di Luar Laboratorium 613
6.9.19 Validasi Keselamatan Praktikum Berbantuan AI 613
6.9.20 Prinsip Akhir Keselamatan Praktikum Berbantuan AI 614
6.10 Contoh Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI 614
6.10.1 Prinsip Desain Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI 615
6.10.2 Contoh Proyek 1: Uji Elektrolit Berbantuan AI 615
6.10.3 Contoh Proyek 2: Indikator Alami Asam-Basa Berbantuan AI 617
6.10.4 Contoh Proyek 3: Pengaruh Suhu terhadap Laju Reaksi 618
6.10.5 Contoh Proyek 4: Korosi Besi Berbasis Observasi Jangka Pendek 619
6.10.6 Contoh Proyek 5: Virtual Laboratory Titrasi Asam-Basa 620
6.10.7 Contoh Proyek 6: Pemisahan Campuran dengan Kromatografi Kertas 621
6.10.8 Contoh Proyek 7: Kualitas Air Sederhana Berbasis Data 622
6.10.9 Contoh Proyek 8: Pemodelan Molekul untuk Mendukung Praktikum 623
6.10.10 Format Laporan Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI 624
6.10.11 Rubrik Penilaian Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI 624
6.10.12 Etika Penggunaan AI dalam Proyek Praktikum 625
6.10.13 Peran Guru dalam Proyek Praktikum Berbasis AI 626
6.10.14 Peran Siswa dalam Proyek Praktikum Berbasis AI 626
6.10.15 Presentasi Hasil Proyek Berbasis AI 627
6.10.16 Integrasi Proyek AI dengan Virtual Laboratory 627
6.10.17 Tantangan Proyek Praktikum Berbasis AI 628
6.10.18 Validasi Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI 629
6.10.19 Template Prompt untuk Merancang Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI 629
6.10.20 Prinsip Akhir Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI 630
Simpulan Bab 6 630
Daftar Pustaka Bab 6 632
GLOSARIUM 635

BAB 1

Konsep Dasar Kecerdasan Buatan dalam Pendidikan Kimia

1.1 Pengertian Kecerdasan Buatan

Kecerdasan buatan atau *artificial intelligence* merupakan salah satu istilah paling berpengaruh dalam perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi, pendidikan, industri, dan kehidupan sosial kontemporer. Dalam konteks umum, kecerdasan buatan dapat dipahami sebagai cabang ilmu komputer dan teknologi komputasional yang berupaya mengembangkan sistem yang mampu melakukan tugas-tugas yang biasanya memerlukan kecerdasan manusia. Tugas tersebut mencakup mengenali pola, memahami bahasa, membuat prediksi, mengambil keputusan, menyelesaikan masalah, menghasilkan teks, membuat gambar, menganalisis data, memberi rekomendasi, hingga merancang respons yang tampak adaptif terhadap kebutuhan pengguna.

Dalam konteks pendidikan kimia, pengertian kecerdasan buatan tidak cukup dipahami hanya sebagai teknologi canggih yang dapat menjawab pertanyaan. AI harus dipahami sebagai **sistem komputasional yang dapat membantu proses perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, dan pengembangan pembelajaran kimia**. File deskripsi mata kuliah menegaskan bahwa mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia* dirancang untuk membekali mahasiswa calon guru kimia, guru kimia, dan pemerhati pendidikan kimia agar mampu memahami perkembangan AI serta mengintegrasikannya secara kritis, kreatif, etis, dan pedagogis dalam pembelajaran kimia. Dengan demikian, AI dalam pembelajaran kimia tidak boleh direduksi menjadi sekadar alat bantu instan, tetapi perlu ditempatkan sebagai bagian dari desain pembelajaran yang terarah, tervalidasi, dan bertanggung jawab.

Secara konseptual, kecerdasan buatan bekerja melalui pemrosesan data dan algoritma. Sistem AI belajar dari pola yang terdapat dalam data, lalu menggunakan pola tersebut untuk menghasilkan keluaran tertentu. Pada sistem AI klasik, keluaran biasanya ditentukan oleh aturan yang telah dirancang secara eksplisit oleh manusia. Pada sistem AI modern, terutama machine learning dan deep learning, sistem tidak hanya menjalankan aturan tetap, tetapi juga membangun model statistik dari data yang sangat besar. Model tersebut kemudian digunakan untuk mengenali pola baru, memprediksi kemungkinan hasil, mengelompokkan data, atau menghasilkan respons yang sesuai dengan masukan pengguna.

Dalam pendidikan, AI telah berkembang dari sistem sederhana seperti mesin koreksi otomatis dan sistem rekomendasi materi menjadi sistem yang lebih kompleks seperti *intelligent tutoring system*, *adaptive learning platform*, chatbot edukatif, analitik pembelajaran, dan generative AI. UNESCO menjelaskan bahwa generative AI dalam pendidikan perlu dipahami sebagai teknologi yang mampu menghasilkan konten baru dalam bentuk teks, gambar, audio, kode, maupun bentuk lain, tetapi penggunaannya harus tetap diarahkan oleh visi pendidikan yang berpusat pada manusia. Artinya, AI tidak boleh menggantikan peran manusia sebagai subjek pendidikan, melainkan harus digunakan untuk memperkuat kapasitas manusia dalam belajar, berpikir, berkreasi, dan mengambil keputusan secara bertanggung jawab.

Dalam pembelajaran kimia, AI memiliki posisi yang sangat strategis karena kimia merupakan ilmu yang sarat dengan abstraksi. Banyak konsep kimia tidak dapat diamati secara langsung oleh peserta didik. Struktur atom, konfigurasi elektron, orbital, ikatan kimia, gaya antarmolekul, bentuk molekul, mekanisme reaksi, kesetimbangan dinamis, kinetika reaksi, dan proses elektrokimia adalah contoh konsep yang menuntut kemampuan membayangkan realitas submikroskopik. Dokumen mata kuliah yang menjadi dasar buku ini menegaskan bahwa pembelajaran kimia melibatkan tiga level representasi, yaitu makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Banyak konsep kimia memerlukan visualisasi, pemodelan, simulasi, dan penalaran abstrak. Karena itu, AI berpotensi membantu peserta didik memahami konsep kimia melalui penjelasan bertahap, analogi, visualisasi, simulasi, peta konsep, latihan adaptif, dan umpan balik otomatis.

Namun, pengertian AI dalam pendidikan kimia harus dibatasi secara hati-hati. AI bukan sumber kebenaran mutlak. AI bukan guru pengganti. AI bukan laboratorium pengganti. AI juga bukan jaminan bahwa semua jawaban yang dihasilkan pasti benar secara ilmiah. Dalam banyak kasus, sistem AI dapat menghasilkan jawaban yang terdengar meyakinkan, tetapi keliru secara konseptual. Fenomena ini sering disebut halusinasi AI. Dalam konteks kimia, halusinasi AI dapat sangat berbahaya karena dapat menghasilkan persamaan reaksi yang tidak setara, struktur molekul yang salah, mekanisme reaksi yang tidak masuk akal, penjelasan termodinamika yang keliru, atau prosedur praktikum yang tidak aman. Karena itu, pendidik kimia harus memahami bahwa AI adalah alat bantu yang memerlukan verifikasi manusia.

Pengertian AI dalam pembelajaran kimia juga harus dibedakan dari sekadar penggunaan perangkat digital. Tidak semua teknologi digital adalah AI. Presentasi slide, video pembelajaran, kalkulator biasa, atau perangkat lunak pengolah kata tidak otomatis disebut AI. Suatu sistem dapat disebut berbasis AI apabila memiliki kemampuan untuk melakukan pemrosesan adaptif, pengenalan pola, prediksi, rekomendasi, pemodelan, atau generasi keluaran berdasarkan data dan algoritma tertentu. Sebagai contoh, aplikasi yang hanya menampilkan tabel periodik digital belum tentu menggunakan AI. Akan tetapi, sistem yang mampu menganalisis kesalahan siswa dalam memahami konfigurasi elektron, lalu memberikan latihan remedial yang sesuai, dapat dikategorikan sebagai aplikasi AI dalam pembelajaran kimia.

Dalam literatur pendidikan kimia mutakhir, AI dipandang memiliki dua kedudukan. Pertama, AI sebagai **alat pendukung pembelajaran kimia**. Dalam posisi ini, AI membantu guru dan mahasiswa membuat bahan ajar, menyusun soal, merancang LKPD, membuat simulasi, menganalisis data praktikum, memberi umpan balik, atau memvisualisasikan konsep. Kedua, AI sebagai **objek literasi yang perlu dipahami oleh pendidik kimia**. Huwer dan kolega menekankan bahwa AI tidak hanya mengubah cara kimia diajarkan, tetapi juga perlu masuk ke dalam kompetensi pendidikan guru agar calon guru memahami peluang, batasan, dan tantangan AI dalam konteks kimia. Dengan kata lain, guru kimia masa depan tidak cukup hanya dapat menggunakan AI, tetapi juga harus memahami cara mengevaluasi, mengkritisi, dan mengintegrasikannya secara pedagogis.

Dalam konteks mata kuliah, pengertian AI perlu dihubungkan dengan capaian pembelajaran. File deskripsi mata kuliah menyebutkan bahwa mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan konsep dasar kecerdasan buatan dan relevansinya dalam pembelajaran kimia, menganalisis peluang dan keterbatasan AI, menggunakan AI untuk merancang bahan ajar dan asesmen, mengembangkan

prompt, memanfaatkan AI untuk visualisasi konsep kimia, mengevaluasi akurasi dan bias, serta menerapkan prinsip etika dan integritas akademik. Hal ini menunjukkan bahwa penguasaan AI dalam pendidikan kimia mencakup tiga dimensi sekaligus: pengetahuan konseptual, keterampilan praktis, dan sikap etis.

Dimensi pertama adalah **pengetahuan konseptual**. Mahasiswa perlu memahami apa itu AI, bagaimana AI bekerja secara umum, apa perbedaan AI dengan machine learning, apa yang dimaksud deep learning, bagaimana model bahasa besar menghasilkan respons, serta mengapa AI dapat membantu sekaligus menyesatkan proses belajar. Pemahaman konseptual ini penting agar pengguna tidak terjebak dalam dua ekstrem: menolak AI secara total karena dianggap mengancam, atau menerima AI secara membabi buta karena dianggap selalu cerdas.

Dimensi kedua adalah **keterampilan praktis**. Dalam pembelajaran kimia, keterampilan praktis menggunakan AI mencakup kemampuan menyusun prompt, memeriksa keluaran AI, mengubah hasil AI menjadi bahan ajar, menyesuaikan materi dengan kurikulum, membuat soal yang valid, mengembangkan LKPD, merancang praktikum, menyusun rubrik, dan mengintegrasikan AI ke dalam aktivitas belajar. Sebuah studi dalam *Journal of Chemical Education* tentang penggunaan generative AI oleh calon guru kimia menunjukkan bahwa banyak mahasiswa awalnya cenderung menggunakan strategi *copy-paste* dalam memberi prompt, sehingga diperlukan bimbingan khusus agar mereka mampu mengembangkan kemampuan prompting yang lebih baik. Temuan ini memperkuat gagasan bahwa penggunaan AI dalam pendidikan kimia harus diajarkan secara eksplisit, bukan diasumsikan akan berkembang sendiri.

Dimensi ketiga adalah **sikap etis dan kritis**. AI dapat mempercepat pekerjaan akademik, tetapi juga dapat menimbulkan plagiarisme, manipulasi tugas, ketergantungan, bias, pelanggaran privasi, dan penurunan kemampuan berpikir kritis. UNESCO menekankan bahwa penggunaan generative AI dalam pendidikan harus disertai regulasi, pengembangan kapasitas manusia, perlindungan data, dan orientasi pada nilai-nilai kemanusiaan. Dalam pendidikan kimia, prinsip ini menjadi semakin penting karena keluaran AI tidak hanya menyangkut teks, tetapi juga dapat berkaitan dengan prosedur eksperimen, keselamatan laboratorium, interpretasi data, dan validitas konsep ilmiah.

Dengan demikian, pengertian kecerdasan buatan dalam pembelajaran kimia dapat dirumuskan sebagai berikut: **kecerdasan buatan dalam pembelajaran kimia adalah sistem komputasional berbasis data dan algoritma yang digunakan untuk membantu perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, personalisasi, visualisasi, simulasi, analisis, dan pengembangan pembelajaran kimia, dengan tetap menempatkan guru, dosen, mahasiswa, dan peserta didik sebagai pengendali utama proses berpikir, validasi ilmiah, dan tanggung jawab etis.**

Rumusan tersebut mengandung beberapa penekanan penting. Pertama, AI adalah sistem komputasional, bukan kesadaran manusia. Meskipun keluaran AI dapat tampak cerdas, respons AI tetap merupakan hasil pemrosesan data dan algoritma. Kedua, AI berfungsi membantu pembelajaran, bukan menggantikan tujuan pendidikan. Pendidikan kimia tetap bertujuan membangun pemahaman konsep, keterampilan proses sains, penalaran ilmiah, sikap ilmiah, literasi kimia, dan tanggung jawab sosial. Ketiga, AI harus dikendalikan melalui validasi ilmiah. Dalam kimia, kebenaran tidak cukup diukur dari kelancaran bahasa, tetapi harus diuji melalui teori, data, model, eksperimen, dan kaidah ilmiah. Keempat, AI harus digunakan secara etis. Bantuan AI

harus transparan, proporsional, tidak melanggar integritas akademik, dan tidak merugikan peserta didik.

Dalam praktik pembelajaran, pengertian AI dapat dipahami melalui beberapa contoh konkret. Ketika guru meminta AI membuat penjelasan tentang ikatan kovalen untuk siswa SMA dengan analogi sederhana, AI berperan sebagai alat bantu penyusunan penjelasan. Ketika mahasiswa menggunakan AI untuk membuat peta konsep kesetimbangan kimia, AI berperan sebagai alat organisasi pengetahuan. Ketika dosen menggunakan AI untuk membuat beberapa variasi soal stoikiometri dengan tingkat kesulitan berbeda, AI berperan dalam diferensiasi asesmen. Ketika peserta didik menggunakan AI untuk meminta umpan balik atas jawaban mereka tentang elektrolisis, AI berperan sebagai tutor pendamping. Ketika peneliti pendidikan kimia menggunakan AI untuk menganalisis pola respons siswa terhadap miskonsepsi asam-basa, AI berperan sebagai alat analitik.

Namun, setiap contoh tersebut harus disertai kontrol pedagogis. Guru harus memastikan bahwa analogi tidak menyederhanakan konsep secara keliru. Mahasiswa harus memeriksa apakah peta konsep sesuai dengan hubungan ilmiah yang benar. Dosen harus meninjau validitas soal dan jawaban. Peserta didik harus diarahkan untuk tidak hanya menerima umpan balik AI, tetapi membandingkannya dengan buku, eksperimen, dan penjelasan guru. Peneliti harus memastikan bahwa analisis AI tidak menggantikan prosedur validasi data yang sahih.

Di sinilah letak perbedaan mendasar antara penggunaan AI yang dangkal dan penggunaan AI yang pedagogis. Penggunaan AI yang dangkal hanya berorientasi pada hasil cepat: jawaban cepat, soal cepat, materi cepat, tugas cepat. Sebaliknya, penggunaan AI yang pedagogis berorientasi pada proses belajar: bagaimana AI membantu peserta didik memahami, bertanya, menalar, menguji, merevisi, merefleksikan, dan mengembangkan pengetahuan kimia. Buku ini memilih posisi kedua. AI tidak diposisikan sebagai jalan pintas untuk menghindari berpikir, tetapi sebagai alat untuk memperkaya proses berpikir ilmiah.

Dalam konteks global, kebutuhan memahami AI dalam pendidikan semakin kuat karena perkembangan AI bergerak sangat cepat. OECD menegaskan bahwa kemajuan AI mendorong perlunya peninjauan ulang terhadap apa yang harus diajarkan guru dan apa yang perlu dipelajari peserta didik pada masa depan. Bagi pendidikan kimia, pertanyaan tersebut menjadi sangat relevan. Jika AI dapat menjawab soal, menjelaskan konsep, membuat rangkuman, dan menghasilkan desain praktikum, maka tugas pendidikan kimia tidak boleh berhenti pada menghafal informasi. Pendidikan kimia harus bergerak menuju kemampuan yang lebih tinggi: validasi konsep, interpretasi data, pemecahan masalah, desain eksperimen, argumentasi ilmiah, kreativitas, kolaborasi, etika, dan literasi teknologi.

Dengan demikian, subbab ini menegaskan bahwa pengertian AI dalam pembelajaran kimia harus dipahami secara luas tetapi kritis. AI adalah teknologi yang dapat membantu pembelajaran, tetapi kualitas manfaatnya bergantung pada kecakapan manusia yang menggunakannya. Semakin kuat pemahaman guru dan mahasiswa tentang konsep kimia, pedagogi, asesmen, dan etika, semakin besar kemungkinan AI digunakan secara produktif. Sebaliknya, semakin lemah literasi kimia dan literasi AI pengguna, semakin besar risiko AI menghasilkan pembelajaran yang dangkal, keliru, dan tidak bertanggung jawab.

Subbab berikutnya akan membahas **sejarah singkat perkembangan Artificial Intelligence** agar pembaca memahami bahwa AI tidak muncul secara tiba-tiba, melainkan berkembang melalui perjalanan panjang ilmu komputer, logika, statistik, komputasi, data, dan kebutuhan manusia untuk membangun sistem yang mampu membantu pengambilan keputusan serta penyelesaian masalah.

1.2 Sejarah Singkat Perkembangan Artificial Intelligence

Kecerdasan buatan tidak lahir secara tiba-tiba pada era ChatGPT, generative AI, atau aplikasi chatbot modern. AI memiliki sejarah panjang yang berakar pada filsafat, logika, matematika, ilmu komputer, psikologi kognitif, sibernetika, linguistik, statistika, dan teori belajar. Memahami sejarah singkat perkembangan AI penting bagi pendidik kimia karena penggunaan AI dalam pembelajaran tidak boleh dilihat sebagai tren sesaat, melainkan sebagai bagian dari perkembangan panjang teknologi komputasional yang secara bertahap mengubah cara manusia berpikir, bekerja, belajar, dan mengajar.

Dalam konteks mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia*, sejarah AI perlu dipahami bukan sekadar sebagai deretan penemuan teknologi, tetapi sebagai proses perubahan paradigma. File deskripsi mata kuliah menempatkan AI sebagai bagian dari desain pembelajaran kimia yang digunakan untuk mendukung perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, visualisasi, asesmen, praktikum virtual, analisis miskonsepsi, pembelajaran adaptif, serta pengembangan perangkat pembelajaran kimia berbantuan AI. Dengan demikian, sejarah AI relevan karena membantu calon guru kimia memahami bahwa teknologi yang mereka gunakan hari ini merupakan hasil evolusi gagasan yang panjang: dari mesin logika, sistem berbasis aturan, machine learning, deep learning, hingga generative AI.

Secara filosofis, akar AI dapat ditelusuri pada pertanyaan klasik: apakah berpikir dapat diformalkan? Sejak lama manusia berusaha memahami apakah penalaran, bahasa, keputusan, dan pemecahan masalah dapat dinyatakan dalam aturan tertentu. Tradisi logika Aristotelian, aljabar Boolean, kalkulus logika, hingga teori komputasi modern menjadi fondasi penting bagi gagasan bahwa sebagian proses berpikir dapat direpresentasikan dalam bentuk simbol, aturan, dan operasi formal. Dalam pendidikan kimia, gagasan ini memiliki kemiripan dengan cara kimia mengajarkan representasi: reaksi kimia direpresentasikan dengan persamaan, struktur molekul direpresentasikan dengan simbol dan model, serta perubahan materi dijelaskan melalui hukum-hukum kuantitatif. AI berkembang dari keyakinan bahwa proses berpikir tertentu dapat dimodelkan secara komputasional, sebagaimana kimia memodelkan fenomena materi melalui teori, simbol, dan representasi.

Salah satu tonggak awal AI modern adalah pemikiran Alan Turing. Turing mengajukan pertanyaan tentang kemungkinan mesin menunjukkan perilaku cerdas dan memperkenalkan gagasan yang kemudian dikenal sebagai *Turing Test*. Pertanyaan Turing tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga filosofis: jika sebuah mesin mampu menghasilkan respons yang tidak dapat dibedakan dari respons manusia dalam konteks tertentu, apakah mesin tersebut dapat dikatakan berpikir? Stanford Encyclopedia of Philosophy menempatkan kontribusi Turing sebagai bagian penting dalam sejarah konseptual AI karena ia membuka ruang diskusi tentang hubungan antara mesin, komputasi, bahasa, dan kecerdasan.

Istilah *artificial intelligence* secara formal mulai dikenal luas setelah proposal *Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence* pada tahun 1955 untuk kegiatan musim panas tahun 1956 di Dartmouth College. Proposal tersebut disusun oleh John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester, dan Claude Shannon. Dalam proposal itu dinyatakan bahwa studi tentang kecerdasan buatan akan dilakukan dengan asumsi bahwa setiap aspek pembelajaran atau ciri kecerdasan lain pada prinsipnya dapat dideskripsikan sedemikian tepat sehingga mesin dapat dibuat untuk mensimulasikannya. Peristiwa Dartmouth ini sering dipandang sebagai titik kelahiran AI sebagai bidang riset modern, walaupun akar gagasannya sudah ada jauh sebelumnya.

Pada fase awal, AI banyak berkembang melalui pendekatan simbolik. Pendekatan ini sering disebut *symbolic AI* atau *good old-fashioned artificial intelligence*. Dalam pendekatan simbolik, kecerdasan dipahami sebagai manipulasi simbol berdasarkan aturan eksplisit. Sistem dibuat untuk memproses pernyataan logis, aturan produksi, pohon keputusan, dan representasi pengetahuan. Dalam konteks pendidikan, pendekatan ini kemudian memengaruhi lahirnya sistem tutorial berbasis aturan, sistem pakar, dan perangkat lunak yang mampu memberi respons berdasarkan pola kesalahan tertentu.

Dalam pembelajaran kimia, pendekatan simbolik memiliki relevansi yang kuat karena kimia sendiri sangat bergantung pada simbol. Rumus molekul, persamaan reaksi, struktur Lewis, konfigurasi elektron, dan notasi termodinamika adalah contoh sistem simbolik. Jika AI simbolik digunakan untuk pembelajaran kimia, sistem dapat dirancang untuk mengenali apakah siswa menuliskan persamaan reaksi dengan benar, apakah jumlah atom di kiri dan kanan sudah setara, atau apakah struktur Lewis memenuhi aturan oktet. Namun, pendekatan simbolik memiliki keterbatasan. Sistem berbasis aturan sulit menangani keragaman bahasa alami, variasi strategi berpikir siswa, atau jawaban terbuka yang tidak dapat dimasukkan ke dalam aturan sederhana.

Pada dekade 1960-an hingga 1970-an, optimisme terhadap AI cukup tinggi. Para peneliti percaya bahwa mesin cerdas akan segera mampu menyelesaikan banyak persoalan manusia. Namun, perkembangan AI kemudian menghadapi keterbatasan besar. Komputer saat itu belum cukup kuat, data belum melimpah, algoritma belum matang, dan banyak persoalan dunia nyata terlalu kompleks untuk diselesaikan dengan aturan eksplisit. Periode kekecewaan terhadap AI ini sering disebut sebagai *AI winter*, yaitu masa ketika pendanaan, perhatian, dan kepercayaan terhadap AI menurun karena hasil yang dicapai tidak secepat harapan.

Meski demikian, AI tidak berhenti. Pada 1970-an dan 1980-an, berkembang sistem pakar atau *expert systems*. Sistem pakar dirancang untuk meniru penalaran pakar dalam bidang tertentu melalui basis pengetahuan dan aturan inferensi. Dalam bidang kedokteran, teknik, dan industri, sistem pakar digunakan untuk membantu diagnosis, identifikasi masalah, dan pengambilan keputusan. Dalam pendidikan kimia, gagasan sistem pakar dapat dibayangkan sebagai sistem yang membantu siswa menyelesaikan soal stoikiometri, mendiagnosis kesalahan dalam konsep asam-basa, atau memberi saran ketika siswa salah memahami kesetimbangan kimia. Sistem seperti ini menunjukkan bahwa AI mulai bergerak dari gagasan abstrak menuju aplikasi praktis.

Namun, sistem pakar juga memiliki masalah. Pengetahuan pakar sulit diekstraksi secara lengkap. Aturan yang terlalu kaku tidak mudah beradaptasi dengan kasus baru. Selain itu, sistem pakar sering tidak mampu belajar sendiri dari pengalaman. Keterbatasan ini kemudian mendorong

pergeseran menuju pendekatan berbasis data. Alih-alih menulis semua aturan secara eksplisit, peneliti mulai mengembangkan sistem yang dapat menemukan pola dari data. Inilah jalur yang kemudian memperkuat machine learning.

Machine learning mengubah paradigma AI. Jika AI simbolik bertumpu pada aturan yang ditulis manusia, machine learning bertumpu pada data dan pola statistik. Sistem dilatih menggunakan data, lalu belajar mengenali hubungan antarvariabel. Dalam pendidikan, machine learning memungkinkan analisis data belajar, prediksi kesulitan siswa, rekomendasi materi, klasifikasi jawaban, dan personalisasi pembelajaran. Dalam pembelajaran kimia, pendekatan ini dapat digunakan untuk memetakan pola kesalahan siswa dalam stoikiometri, menganalisis respons terhadap soal konsep, atau mengidentifikasi kelompok siswa yang membutuhkan remedial.

Perkembangan machine learning semakin kuat ketika kapasitas komputasi meningkat, data digital semakin banyak, dan algoritma statistik semakin matang. Pada tahap berikutnya, deep learning menjadi salah satu pendekatan yang sangat berpengaruh. Deep learning menggunakan jaringan saraf tiruan berlapis banyak untuk mempelajari pola yang kompleks. Pendekatan ini sangat penting dalam pengenalan gambar, pemrosesan bahasa alami, pengenalan suara, penerjemahan otomatis, sistem rekomendasi, dan generasi konten. Dalam konteks kimia, deep learning juga digunakan dalam riset molekul, prediksi sifat senyawa, desain obat, analisis spektrum, dan kimia komputasi. Dalam konteks pendidikan kimia, dampaknya tampak pada kemampuan AI untuk membaca teks, menghasilkan penjelasan, membuat visualisasi, membantu simulasi, dan memberikan respons adaptif terhadap kebutuhan belajar.

Perkembangan penting lainnya adalah kemunculan *natural language processing* atau pemrosesan bahasa alami. Bidang ini memungkinkan komputer memproses, memahami, dan menghasilkan bahasa manusia. Bagi pendidikan, perkembangan ini sangat penting karena pembelajaran pada dasarnya banyak berlangsung melalui bahasa: guru menjelaskan, siswa bertanya, buku menyajikan konsep, diskusi membangun pemahaman, dan asesmen sering dilakukan melalui jawaban tertulis. AI berbasis bahasa membuka peluang baru dalam pembelajaran kimia, misalnya menjelaskan konsep ikatan kovalen dengan bahasa yang lebih sederhana, mengubah penjelasan abstrak menjadi analogi, memberi umpan balik terhadap jawaban siswa, atau membantu mahasiswa menyusun rancangan pembelajaran.

Puncak perkembangan yang sangat terasa dalam pendidikan saat ini adalah generative AI. Generative AI merujuk pada sistem AI yang mampu menghasilkan konten baru, seperti teks, gambar, kode, suara, video, atau bentuk representasi lain. UNESCO menyebut generative AI sebagai teknologi yang membawa peluang besar sekaligus menuntut tata kelola, pengembangan kapasitas manusia, dan visi pendidikan yang berpusat pada manusia. Dalam pembelajaran kimia, generative AI dapat membantu membuat bahan ajar, soal, rubrik, LKPD, skenario diskusi, analogi konsep, ringkasan materi, simulasi penjelasan, dan refleksi pembelajaran. Akan tetapi, generative AI juga dapat menghasilkan kesalahan, bias, atau informasi yang tampak benar tetapi tidak valid secara ilmiah.

Perkembangan generative AI sangat berkaitan dengan large language models atau model bahasa besar. Model bahasa besar dilatih menggunakan data teks dalam jumlah sangat besar sehingga mampu memprediksi, melanjutkan, dan menghasilkan bahasa secara koheren. Model ini tidak

memahami kimia dengan cara manusia memahami kimia melalui eksperimen dan konsep ilmiah, tetapi menghasilkan respons berdasarkan pola bahasa dan hubungan statistik yang dipelajari dari data. Karena itu, guru kimia harus memahami bahwa jawaban AI yang fasih belum tentu benar secara kimia. Dalam konteks ini, literasi kimia dan literasi AI harus berjalan bersama.

Bila sejarah AI dilihat dari sudut pandang pendidikan kimia, tampak bahwa setiap fase perkembangan AI membuka peluang pedagogis tertentu. AI simbolik membantu sistem berbasis aturan untuk mengevaluasi jawaban yang memiliki struktur jelas. Sistem pakar membantu simulasi penalaran pakar. Machine learning membantu analisis data belajar. Deep learning membantu pemrosesan pola kompleks. Natural language processing membantu interaksi berbasis bahasa. Generative AI membantu produksi konten dan dialog pembelajaran. Dengan demikian, AI tidak memiliki satu bentuk tunggal. AI merupakan keluarga teknologi yang terus berkembang dan memiliki implikasi berbeda-beda bagi pendidikan kimia.

Dalam file deskripsi mata kuliah, AI diproyeksikan untuk membantu pengembangan modul, LKPD, media pembelajaran, soal HOTS, rubrik penilaian, peta konsep, infografik, simulasi eksperimen, virtual laboratory, animasi molekul, analisis miskonsepsi, serta rancangan pembelajaran berbasis meaningful learning, mindful learning, dan joyful learning. Jika dikaitkan dengan sejarah AI, daftar aplikasi tersebut menunjukkan bahwa pendidikan kimia masa kini telah memasuki fase integratif. AI tidak hanya digunakan untuk satu fungsi sempit, tetapi dapat mendukung berbagai komponen pembelajaran secara terpadu.

Namun, sejarah AI juga mengajarkan kehati-hatian. Setiap gelombang perkembangan AI selalu disertai janji besar, tetapi juga keterbatasan. Pada fase simbolik, AI dijanjikan mampu meniru penalaran manusia melalui aturan logis, tetapi terbatas menghadapi kompleksitas dunia nyata. Pada fase sistem pakar, AI dijanjikan mampu menggantikan sebagian keputusan pakar, tetapi sulit memperbarui pengetahuan dan memahami konteks. Pada fase machine learning, AI mampu belajar dari data, tetapi sangat bergantung pada kualitas data. Pada fase generative AI, sistem mampu menghasilkan teks yang sangat meyakinkan, tetapi masih dapat melakukan halusinasi, bias, dan kesalahan faktual. Oleh karena itu, guru kimia tidak boleh hanya melihat sejarah AI sebagai sejarah kemajuan, tetapi juga sebagai sejarah koreksi terhadap klaim berlebihan.

Dalam pendidikan, sejarah AI juga berkaitan dengan perkembangan *artificial intelligence in education* atau AIED. Bidang ini mempelajari bagaimana AI dapat digunakan untuk mendukung pembelajaran, pengajaran, asesmen, dan pengambilan keputusan pendidikan. AIED mencakup *intelligent tutoring systems*, analitik pembelajaran, sistem rekomendasi, agen pedagogis, evaluasi otomatis, hingga generative AI untuk pembelajaran. Kajian mutakhir tentang generative AI dalam pendidikan menekankan bahwa AI dapat mendukung personalisasi, asesmen performa kompleks, dan produksi konten, tetapi tetap membutuhkan verifikasi, transparansi desain, dan kesadaran terhadap bias data.

Dalam konteks pembelajaran kimia, perkembangan AIED dapat diterjemahkan ke dalam beberapa arah. Pertama, AI dapat membantu peserta didik belajar konsep yang sulit melalui penjelasan bertahap. Kedua, AI dapat memberi latihan adaptif berdasarkan kesalahan siswa. Ketiga, AI dapat membantu guru menganalisis pola miskonsepsi. Keempat, AI dapat mendukung praktikum virtual ketika fasilitas laboratorium terbatas. Kelima, AI dapat membantu penyusunan bahan ajar yang

sesuai dengan level siswa. Keenam, AI dapat membantu dosen dan mahasiswa calon guru merancang perangkat pembelajaran yang lebih lengkap. Semua arah ini sesuai dengan tujuan mata kuliah, yaitu membekali mahasiswa dengan pemahaman konseptual, keterampilan praktis, dan sikap etis dalam memanfaatkan AI untuk pembelajaran kimia.

Sejarah AI juga memperlihatkan bahwa perkembangan teknologi selalu memengaruhi peran guru. Pada masa awal komputer pendidikan, guru sering diposisikan sebagai pengguna perangkat bantu. Pada era internet, guru menjadi kurator informasi. Pada era learning management system, guru menjadi pengelola aktivitas digital. Pada era AI, guru perlu menjadi desainer pengalaman belajar, validator konten, pengarah etika, analis kebutuhan belajar, dan fasilitator refleksi. OECD menekankan bahwa perkembangan AI membuat pendidikan perlu memikirkan ulang apa yang harus diajarkan guru dan apa yang harus dipelajari siswa pada masa depan. Dalam pendidikan kimia, pertanyaan ini sangat penting karena kemampuan menghafal definisi atau menyelesaikan soal rutin semakin mudah dibantu AI, sedangkan kemampuan validasi konsep, eksperimen, argumentasi ilmiah, dan etika penggunaan teknologi menjadi semakin bernilai.

Bagi mahasiswa calon guru kimia, sejarah AI memberikan pelajaran bahwa penguasaan teknologi harus disertai penguasaan pedagogi dan substansi kimia. Guru yang hanya memahami AI tanpa memahami kimia berisiko menerima keluaran yang salah. Guru yang memahami kimia tetapi tidak memahami AI berisiko tertinggal dalam memanfaatkan teknologi pembelajaran. Guru yang memahami keduanya tetapi tidak memiliki kesadaran etis berisiko menggunakan AI secara tidak bertanggung jawab. Karena itu, mata kuliah ini perlu menempatkan sejarah AI sebagai landasan untuk membangun sikap kritis: AI adalah produk perkembangan ilmu yang kuat, tetapi bukan otoritas final dalam pendidikan.

Dalam praktik pembelajaran kimia, pemahaman sejarah AI dapat diwujudkan melalui aktivitas kelas. Dosen dapat meminta mahasiswa membuat garis waktu perkembangan AI dari era Turing, Dartmouth, symbolic AI, expert systems, machine learning, deep learning, hingga generative AI. Setelah itu, mahasiswa diminta mengaitkan setiap fase dengan kemungkinan aplikasinya dalam pembelajaran kimia. Misalnya, symbolic AI dikaitkan dengan pemeriksaan persamaan reaksi; expert systems dikaitkan dengan diagnosis miskonsepsi; machine learning dikaitkan dengan analisis data belajar; deep learning dikaitkan dengan pengenalan gambar struktur molekul; generative AI dikaitkan dengan pembuatan bahan ajar dan prompt pembelajaran. Aktivitas seperti ini membantu mahasiswa memahami AI secara historis sekaligus pedagogis.

Pemahaman historis juga penting agar pendidik tidak terjebak pada euforia generative AI. Meskipun generative AI tampak baru dan luar biasa, ia tetap berada dalam garis panjang perkembangan AI yang penuh keberhasilan dan keterbatasan. AI masa kini lebih kuat karena ditopang oleh data besar, komputasi tinggi, algoritma maju, dan konektivitas digital global. Namun, keterbatasan dasarnya tetap perlu diperhatikan: AI tidak memiliki pengalaman laboratorium seperti manusia, tidak memiliki tanggung jawab moral, tidak memahami konteks kelas secara utuh, dan tidak dapat memastikan sendiri bahwa semua keluaran kimianya benar. Karena itu, manusia tetap menjadi pusat dalam pengambilan keputusan pendidikan.

Sejarah AI dalam pendidikan kimia juga dapat dibaca sebagai sejarah perluasan representasi. Pada awalnya, teknologi pendidikan membantu menyajikan teks dan gambar. Kemudian berkembang

menjadi animasi, simulasi, visualisasi molekul, laboratorium virtual, sistem pembelajaran adaptif, dan kini dialog generatif. Perluasan ini sangat sesuai dengan kebutuhan kimia sebagai ilmu yang memerlukan representasi berlapis. Akan tetapi, semakin kuat kemampuan representasi teknologi, semakin besar pula kebutuhan validasi. Visualisasi molekul yang indah tetapi salah dapat lebih menyesatkan daripada teks sederhana yang benar. Penjelasan AI yang lancar tetapi keliru dapat lebih berbahaya daripada jawaban siswa yang belum lengkap tetapi masih dapat dikoreksi guru.

Dengan demikian, sejarah singkat perkembangan AI memperlihatkan bahwa AI adalah hasil evolusi panjang dari gagasan tentang mesin yang dapat meniru, membantu, atau memperluas sebagian fungsi kognitif manusia. Perjalanan tersebut bergerak dari logika simbolik menuju sistem berbasis aturan, dari sistem pakar menuju machine learning, dari deep learning menuju generative AI, dan dari aplikasi umum menuju integrasi dalam pendidikan. Dalam pembelajaran kimia, sejarah ini memberikan dasar untuk memahami mengapa AI dapat digunakan untuk bahan ajar, visualisasi, asesmen, praktikum virtual, pembelajaran adaptif, dan proyek pembelajaran, tetapi sekaligus mengapa AI harus selalu ditempatkan dalam kerangka validasi ilmiah dan tanggung jawab pedagogis.

Subbab berikutnya akan membahas **jenis-jenis AI dan perkembangannya dalam dunia pendidikan**. Pembahasan tersebut penting karena pendidik kimia perlu membedakan berbagai bentuk AI, seperti AI berbasis aturan, machine learning, deep learning, generative AI, chatbot edukatif, sistem rekomendasi, dan tutor cerdas, sehingga penggunaannya dalam pembelajaran kimia dapat lebih tepat, sadar tujuan, dan tidak sekadar mengikuti tren teknologi.

1.3 Jenis-Jenis AI dan Perkembangannya dalam Dunia Pendidikan

Perkembangan kecerdasan buatan dalam pendidikan tidak dapat dipahami hanya melalui satu jenis teknologi. AI bukanlah satu alat tunggal, melainkan sekumpulan pendekatan, sistem, model, dan aplikasi yang memiliki fungsi berbeda-beda. Dalam konteks pembelajaran kimia, pemahaman terhadap jenis-jenis AI menjadi penting karena setiap jenis AI memiliki kegunaan, batasan, risiko, dan implikasi pedagogis yang berbeda. Guru atau calon guru kimia yang memahami perbedaan jenis AI akan lebih mampu memilih teknologi yang tepat untuk tujuan pembelajaran tertentu, bukan sekadar menggunakan AI karena sedang populer.

File deskripsi mata kuliah menempatkan AI sebagai teknologi yang digunakan untuk mendukung berbagai aspek pembelajaran kimia, mulai dari pengembangan bahan ajar, LKPD, modul, media, soal HOTS, rubrik penilaian, visualisasi konsep, praktikum virtual, analisis miskonsepsi, pembelajaran diferensiasi, hingga proyek akhir perangkat pembelajaran kimia berbasis AI. Keragaman penggunaan tersebut menunjukkan bahwa AI dalam pendidikan kimia tidak hanya berbentuk chatbot, tetapi juga dapat hadir sebagai sistem rekomendasi, tutor cerdas, alat visualisasi, analitik pembelajaran, generator konten, sistem evaluasi otomatis, dan alat bantu desain pembelajaran.

Secara umum, AI dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa sudut pandang. Pertama, berdasarkan **cara kerjanya**, AI dapat dibedakan menjadi AI berbasis aturan, machine learning, deep learning, dan generative AI. Kedua, berdasarkan **fungsinya dalam pendidikan**, AI dapat berupa sistem tutor cerdas, chatbot edukatif, sistem rekomendasi belajar, learning analytics,

automated assessment, adaptive learning, virtual laboratory, dan alat pengembangan konten. Ketiga, berdasarkan **peran pedagogisnya**, AI dapat berfungsi sebagai alat bantu guru, mitra belajar siswa, alat asesmen, alat refleksi, media simulasi, atau instrumen penelitian pendidikan.

Jenis pertama adalah **AI berbasis aturan** atau *rule-based AI*. Sistem ini bekerja berdasarkan aturan eksplisit yang dirancang oleh manusia. Jika kondisi tertentu terpenuhi, sistem akan memberikan respons tertentu. Pola dasarnya dapat dijelaskan secara sederhana: jika A terjadi, maka sistem melakukan B. AI berbasis aturan sangat berguna untuk tugas-tugas yang memiliki prosedur jelas, struktur tetap, dan kriteria benar-salah yang relatif eksplisit. Dalam pembelajaran kimia, sistem berbasis aturan dapat digunakan untuk memeriksa apakah persamaan reaksi telah disetarakan dengan benar, apakah simbol unsur ditulis sesuai kaidah, atau apakah langkah dasar penyelesaian soal stoikiometri mengikuti prosedur yang tepat.

Kelebihan AI berbasis aturan adalah transparansinya relatif tinggi. Guru dapat mengetahui mengapa sistem memberi respons tertentu karena aturan yang digunakan dapat ditelusuri. Namun, kelemahannya adalah keterbatasan dalam menghadapi jawaban terbuka, variasi bahasa siswa, atau situasi pembelajaran yang kompleks. Misalnya, ketika siswa menjelaskan konsep ikatan ionik dengan kalimat yang tidak baku tetapi secara konseptual mendekati benar, sistem berbasis aturan mungkin kesulitan menilai kualitas pemahaman tersebut. Dalam konteks pendidikan kimia, AI berbasis aturan berguna untuk tugas terstruktur, tetapi kurang memadai untuk menilai penalaran ilmiah yang terbuka.

Jenis kedua adalah **machine learning**. Machine learning merupakan pendekatan AI yang memungkinkan sistem belajar dari data. Berbeda dari AI berbasis aturan, machine learning tidak sepenuhnya bergantung pada aturan yang ditulis manusia secara eksplisit. Sistem dilatih menggunakan data, lalu menemukan pola yang dapat digunakan untuk klasifikasi, prediksi, rekomendasi, atau pengambilan keputusan. Dalam pendidikan, machine learning dapat digunakan untuk memprediksi risiko kegagalan belajar, mengelompokkan siswa berdasarkan pola kesulitan, menganalisis respons asesmen, atau merekomendasikan materi remedial.

Dalam pembelajaran kimia, machine learning dapat membantu menganalisis data jawaban siswa untuk menemukan pola miskonsepsi. Misalnya, jika banyak siswa salah memahami hubungan antara mol, massa, dan jumlah partikel, sistem dapat mengidentifikasi pola kesalahan tersebut dan memberi rekomendasi latihan yang sesuai. Machine learning juga dapat digunakan dalam penelitian pendidikan kimia untuk mengolah data besar, seperti data hasil ujian, respons angket, log aktivitas pembelajaran digital, atau transkrip diskusi. Namun, machine learning sangat bergantung pada kualitas data. Jika data pelatihan bias, tidak lengkap, atau tidak representatif, maka keluaran sistem juga dapat bias.

Jenis ketiga adalah **deep learning**. Deep learning merupakan bagian dari machine learning yang menggunakan jaringan saraf tiruan berlapis banyak. Pendekatan ini berkembang pesat karena kemampuannya memproses data kompleks, seperti gambar, suara, teks, pola molekuler, dan data berdimensi tinggi. Dalam dunia kimia, deep learning banyak digunakan untuk prediksi sifat molekul, analisis spektrum, desain senyawa, pengenalan struktur, dan pemodelan kimia komputasi. Dalam pendidikan kimia, relevansinya terlihat pada kemampuan sistem AI untuk

memproses teks pembelajaran, mengenali gambar struktur molekul, membantu visualisasi, dan menghasilkan penjelasan berdasarkan pola bahasa serta data multimodal.

Deep learning membuka peluang besar untuk pembelajaran kimia karena kimia banyak berhubungan dengan representasi visual dan pola. Struktur molekul, geometri molekul, orbital, kurva energi, spektrum, grafik kinetika, dan model partikel semuanya dapat diproses atau direpresentasikan melalui sistem komputasional. Namun, deep learning juga sering dipandang sebagai *black box*, yaitu sistem yang proses internalnya sulit dijelaskan secara transparan. Dalam pendidikan, persoalan ini penting karena guru perlu mengetahui dasar suatu rekomendasi atau penilaian. Jika AI menyatakan bahwa siswa mengalami miskonsepsi tertentu, guru perlu memahami alasan di balik kesimpulan tersebut.

Jenis keempat adalah **generative AI**. Generative AI adalah jenis AI yang mampu menghasilkan konten baru, seperti teks, gambar, audio, video, kode program, tabel, rancangan pembelajaran, soal, rubrik, atau simulasi berbasis instruksi pengguna. Dalam pendidikan, generative AI menjadi sangat populer karena dapat digunakan secara langsung melalui bahasa alami. Guru tidak harus menulis kode program untuk menggunakannya. Mereka cukup memberi instruksi atau prompt, lalu sistem menghasilkan respons. UNESCO menekankan bahwa generative AI memiliki potensi besar dalam pendidikan dan riset, tetapi penggunaannya harus berada dalam kerangka human-centered, etis, aman, dan bertanggung jawab.

Dalam pembelajaran kimia, generative AI dapat digunakan untuk membuat bahan ajar, menyusun analogi, menjelaskan konsep abstrak, membuat soal bertingkat, menyusun rubrik, menulis skenario diskusi, merancang praktikum sederhana, mengembangkan LKPD, atau membuat peta konsep. File deskripsi mata kuliah juga menyebutkan bahwa mahasiswa perlu mempelajari prompt untuk menghasilkan bahan ajar, soal, eksperimen, simulasi, ringkasan konsep, analogi, skenario diskusi, serta umpan balik pembelajaran. Hal ini menunjukkan bahwa generative AI berperan besar dalam mata kuliah ini, terutama karena kemampuannya membantu produksi dan pengembangan perangkat pembelajaran.

Namun, generative AI memiliki risiko yang tidak kecil. Sistem ini dapat menghasilkan jawaban yang terdengar meyakinkan tetapi salah. Dalam kimia, kesalahan semacam itu dapat muncul dalam bentuk persamaan reaksi yang tidak setara, konsep ikatan yang keliru, visualisasi struktur molekul yang tidak akurat, penjelasan termodinamika yang menyesatkan, atau prosedur praktikum yang tidak aman. Oleh karena itu, generative AI harus selalu digunakan bersama validasi ilmiah oleh guru atau dosen. AI dapat membantu menyusun draf, tetapi tidak boleh menjadi otoritas final kebenaran kimia.

Jenis kelima adalah **chatbot edukatif**. Chatbot edukatif merupakan sistem AI yang memungkinkan interaksi berbasis dialog dengan pengguna. Chatbot dapat digunakan siswa untuk bertanya tentang konsep, meminta contoh soal, meminta penjelasan ulang, memperoleh umpan balik, atau melakukan latihan. Dalam pembelajaran kimia, chatbot dapat berperan sebagai tutor pendamping yang membantu siswa memahami materi di luar jam pelajaran. Misalnya, siswa dapat bertanya mengapa larutan elektrolit dapat menghantarkan listrik, bagaimana cara menentukan bilangan oksidasi, atau mengapa perubahan entalpi bernilai negatif pada reaksi eksoterm.

Kelebihan chatbot edukatif adalah ketersediaannya yang fleksibel. Siswa dapat berinteraksi kapan saja dan memperoleh respons cepat. Namun, chatbot tidak selalu memahami konteks kelas, kurikulum, kemampuan siswa, atau tujuan pembelajaran tertentu. Karena itu, penggunaan chatbot perlu diarahkan dengan pedoman yang jelas. Guru perlu mengajarkan kepada siswa cara bertanya yang baik, cara memeriksa jawaban, cara membandingkan respons AI dengan sumber lain, dan cara menyadari batas bantuan AI. Chatbot sebaiknya digunakan untuk mendukung proses belajar, bukan menggantikan interaksi pedagogis antara guru dan siswa.

Jenis keenam adalah **intelligent tutoring system** atau sistem tutor cerdas. Sistem tutor cerdas dirancang untuk memberikan bantuan belajar yang lebih adaptif. Sistem ini biasanya memiliki model pengetahuan, model siswa, strategi pedagogis, dan mekanisme umpan balik. Dalam pembelajaran kimia, tutor cerdas dapat digunakan untuk membimbing siswa menyelesaikan soal bertahap, memberikan petunjuk ketika siswa salah, atau menyesuaikan tingkat kesulitan latihan berdasarkan performa siswa. Tutor cerdas berbeda dari chatbot umum karena biasanya lebih terstruktur dan dirancang untuk tujuan pembelajaran tertentu.

Sistem tutor cerdas sangat relevan untuk topik kimia yang membutuhkan latihan prosedural sekaligus pemahaman konsep, seperti stoikiometri, kesetimbangan kimia, asam-basa, elektrokimia, dan termokimia. Misalnya, dalam stoikiometri, sistem dapat memandu siswa mulai dari menulis persamaan reaksi, menyetarakan reaksi, menentukan mol zat, menggunakan perbandingan koefisien, hingga menghitung massa produk. Jika siswa salah pada tahap tertentu, sistem dapat memberi umpan balik khusus. Dengan demikian, tutor cerdas dapat berfungsi sebagai scaffolding digital.

Jenis ketujuh adalah **adaptive learning system** atau sistem pembelajaran adaptif. Sistem ini menggunakan data performa siswa untuk menyesuaikan materi, urutan pembelajaran, tingkat kesulitan, atau jenis latihan. Dalam pendidikan kimia, pembelajaran adaptif dapat digunakan untuk membedakan kebutuhan siswa yang belum memahami konsep dasar dengan siswa yang sudah siap menerima materi pengayaan. File deskripsi mata kuliah secara eksplisit memasukkan AI untuk pembelajaran diferensiasi dan adaptif, termasuk penyesuaian materi dengan kemampuan peserta didik, gaya belajar, kebutuhan remedial, pengayaan, serta pembelajaran personal.

Pembelajaran adaptif berbasis AI memiliki potensi besar dalam kelas kimia yang heterogen. Dalam satu kelas, ada siswa yang mudah memahami konsep mol, tetapi kesulitan memahami struktur atom. Ada pula siswa yang kuat dalam hitungan, tetapi lemah dalam representasi submikroskopik. AI dapat membantu guru memetakan kebutuhan tersebut dan menyediakan jalur belajar yang berbeda. Namun, guru tetap harus memastikan bahwa adaptasi tidak membuat siswa terjebak dalam pembelajaran yang terlalu sempit. Pembelajaran adaptif harus tetap memberi kesempatan kepada siswa untuk berpikir lintas konsep, berdiskusi, bereksperimen, dan membangun pemahaman utuh.

Jenis kedelapan adalah **learning analytics** atau analitik pembelajaran. Learning analytics merujuk pada pengumpulan, pengolahan, analisis, dan pelaporan data belajar untuk memahami serta mengoptimalkan pembelajaran. Dalam konteks AI, learning analytics dapat digunakan untuk menganalisis pola kehadiran, respons kuis, waktu pengerjaan tugas, kesalahan umum, partisipasi diskusi, atau progres belajar siswa. Dalam pendidikan kimia, learning analytics dapat membantu

guru melihat topik mana yang paling sulit, jenis soal mana yang paling banyak salah, atau kelompok siswa mana yang membutuhkan intervensi.

Learning analytics sangat berguna jika pembelajaran kimia dilakukan melalui platform digital. Misalnya, ketika siswa mengerjakan latihan tentang kesetimbangan kimia, sistem dapat merekam jenis kesalahan yang paling sering muncul. Guru kemudian dapat menggunakan data tersebut untuk merancang pembelajaran ulang. Jika sebagian besar siswa salah memahami pengaruh katalis terhadap posisi kesetimbangan, guru dapat segera memberikan klarifikasi. Dengan demikian, AI tidak hanya membantu siswa secara individual, tetapi juga membantu guru mengambil keputusan pedagogis berbasis data.

Jenis kesembilan adalah **automated assessment** atau asesmen otomatis. Sistem ini digunakan untuk membantu menilai jawaban siswa, memberikan skor, memberi umpan balik, atau mengklasifikasikan jenis kesalahan. Dalam pembelajaran kimia, automated assessment dapat digunakan untuk soal pilihan ganda, soal numerik, jawaban singkat, bahkan dalam beberapa kasus jawaban esai. File deskripsi mata kuliah menempatkan AI untuk asesmen dan evaluasi sebagai salah satu pokok bahasan utama, meliputi soal pilihan ganda, uraian, HOTS, diagnostik miskonsepsi, rubrik, asesmen proyek, asesmen praktikum, dan umpan balik otomatis.

Meskipun demikian, asesmen otomatis dalam kimia harus dirancang secara hati-hati. Soal kimia sering memerlukan pemahaman representasi, proses berpikir, dan argumentasi ilmiah. Jawaban siswa yang berbeda secara bahasa belum tentu berbeda secara konsep. Sebaliknya, jawaban yang tampak mirip dapat mencerminkan pemahaman yang berbeda. Oleh karena itu, AI dapat membantu proses asesmen, tetapi guru tetap perlu meninjau validitas instrumen, keadilan penilaian, dan kemungkinan kesalahan klasifikasi. AI sangat berguna sebagai alat bantu umpan balik formatif, tetapi tidak boleh digunakan secara buta sebagai satu-satunya dasar penilaian.

Jenis kesepuluh adalah **AI untuk visualisasi dan simulasi**. Jenis ini sangat penting dalam pendidikan kimia karena banyak konsep kimia tidak dapat diamati langsung. AI dapat digunakan untuk membantu membuat representasi struktur atom, konfigurasi elektron, ikatan kimia, bentuk molekul, gaya antarmolekul, reaksi kimia, mekanisme reaksi, model molekul, dan animasi konseptual. File deskripsi mata kuliah secara khusus menyebut AI untuk visualisasi dan representasi kimia, termasuk struktur atom, konfigurasi elektron, ikatan kimia, geometri molekul, gaya antarmolekul, reaksi kimia, mekanisme reaksi, dan model molekul.

Visualisasi berbasis AI dapat membantu siswa menghubungkan tiga level representasi kimia. Misalnya, fenomena makroskopik berupa perubahan warna larutan dapat dikaitkan dengan proses submikroskopik berupa perubahan spesies kimia dalam larutan, lalu dinyatakan dalam simbol reaksi. Jika dirancang dengan baik, AI dapat membantu menjelaskan hubungan antarlevel tersebut. Namun, visualisasi juga dapat menimbulkan miskonsepsi jika terlalu disederhanakan atau tidak sesuai konsep ilmiah. Karena itu, guru harus menilai apakah visualisasi yang dihasilkan AI benar secara kimia, sesuai usia siswa, dan tidak menimbulkan gambaran keliru tentang dunia partikel.

Jenis kesebelas adalah **AI untuk virtual laboratory**. Laboratorium virtual memungkinkan siswa melakukan simulasi eksperimen melalui lingkungan digital. AI dapat memperkaya laboratorium virtual dengan memberi petunjuk adaptif, menganalisis data eksperimen, memberi umpan balik

terhadap prosedur, atau menyediakan skenario percobaan. Dalam pembelajaran kimia, virtual laboratory sangat berguna ketika alat dan bahan terbatas, eksperimen terlalu berisiko, waktu praktikum terbatas, atau konsep memerlukan simulasi berulang. Dokumen mata kuliah menempatkan AI untuk praktikum dan virtual laboratory sebagai salah satu ruang lingkup materi, termasuk prosedur eksperimen, analisis data praktikum, keselamatan kerja, alternatif alat-bahan sederhana, dan LKPD praktikum berbasis inkuiri.

Meski virtual laboratory penting, ia tidak boleh sepenuhnya menggantikan pengalaman laboratorium nyata. Kimia adalah ilmu eksperimental. Siswa perlu belajar mengamati, mengukur, mencatat data, menangani alat, memahami keselamatan kerja, menghadapi kesalahan eksperimen, dan menafsirkan hasil nyata. AI dan virtual laboratory sebaiknya digunakan untuk memperkuat persiapan praktikum, memperjelas konsep, atau menyediakan pengalaman alternatif ketika praktikum nyata tidak memungkinkan. Idealnya, laboratorium virtual dan laboratorium nyata saling melengkapi.

Jenis kedua belas adalah **AI untuk pengembangan konten dan perangkat pembelajaran**. Jenis ini paling langsung dirasakan oleh guru dan mahasiswa calon guru. AI dapat membantu menyusun RPS, RPP, modul ajar, bahan ajar, LKPD, slide, infografik, peta konsep, glosarium, soal, rubrik, dan refleksi pembelajaran. File deskripsi mata kuliah menyebut bahwa produk akhir mata kuliah dapat berupa portofolio pembelajaran kimia berbasis AI yang memuat rancangan pembelajaran, bahan ajar, LKPD, media visual atau simulasi, paket soal dan rubrik, analisis potensi miskonsepsi, refleksi etika, dan evaluasi kelayakan implementasi di kelas.

Dalam fungsi ini, AI sangat membantu efisiensi kerja pendidik. Namun, efisiensi tidak boleh mengorbankan kualitas akademik dan pedagogis. Perangkat pembelajaran yang dibuat AI harus disesuaikan dengan kurikulum, capaian pembelajaran, karakteristik siswa, ketersediaan fasilitas, konteks sekolah, dan validitas konsep kimia. Guru harus bertindak sebagai editor, kurator, dan validator. Produk AI sebaiknya diperlakukan sebagai draf awal yang perlu ditinjau, bukan sebagai dokumen final.

Perkembangan AI dalam dunia pendidikan dapat dilihat sebagai proses perluasan fungsi. Pada awalnya, teknologi komputasi dalam pendidikan lebih banyak digunakan untuk latihan terprogram, presentasi materi, dan pengelolaan informasi. Kemudian berkembang menjadi pembelajaran berbasis komputer, e-learning, learning management system, sistem tutor cerdas, analitik pembelajaran, pembelajaran adaptif, dan kini generative AI. Setiap tahap perkembangan membawa perubahan dalam hubungan antara guru, siswa, materi, dan teknologi.

Dalam pendidikan kimia, perkembangan tersebut membawa perubahan penting. Guru tidak lagi hanya menjadi penyampai materi, tetapi juga perancang ekosistem belajar. Siswa tidak lagi hanya menerima penjelasan, tetapi dapat berinteraksi dengan berbagai sumber digital. Materi kimia tidak lagi hanya disajikan dalam buku teks, tetapi dapat ditampilkan melalui simulasi, visualisasi molekul, animasi reaksi, laboratorium virtual, dan dialog AI. Asesmen tidak lagi hanya berupa tes akhir, tetapi dapat berlangsung secara formatif, adaptif, dan berbasis data. Namun, perubahan ini juga menuntut kesiapan baru: literasi AI, literasi kimia, literasi data, etika akademik, dan kemampuan berpikir kritis.

Perkembangan AI dalam pendidikan juga mendorong lahirnya pertanyaan mendasar: apa yang masih harus dikuasai siswa jika AI dapat membantu menjawab pertanyaan? Dalam pembelajaran kimia, jawabannya bukan mengurangi tuntutan berpikir, tetapi justru meningkatkan kualitas berpikir. Siswa perlu belajar bagaimana memeriksa kebenaran jawaban AI, membandingkan representasi kimia, menafsirkan data eksperimen, membuat argumen ilmiah, merancang percobaan, menyelesaikan masalah kontekstual, dan memahami implikasi sosial penggunaan kimia. AI dapat membantu proses tersebut, tetapi tidak dapat menggantikan pengalaman belajar ilmiah yang bermakna.

Oleh karena itu, jenis-jenis AI dalam pendidikan kimia perlu dipahami secara fungsional. Untuk penjelasan konsep, generative AI dan chatbot dapat digunakan. Untuk latihan bertahap, tutor cerdas dapat dimanfaatkan. Untuk kebutuhan remedial dan pengayaan, pembelajaran adaptif relevan. Untuk analisis kesulitan belajar, learning analytics dapat membantu. Untuk visualisasi konsep abstrak, AI visual dan simulasi dapat digunakan. Untuk praktikum, virtual laboratory dapat memperluas pengalaman belajar. Untuk penilaian, automated assessment dapat mempercepat umpan balik. Untuk pengembangan perangkat pembelajaran, AI dapat menjadi asisten desain. Setiap fungsi tersebut harus tetap berada dalam pengawasan pendidik.

Dalam konteks mata kuliah, pemahaman jenis-jenis AI sebaiknya tidak berhenti pada definisi. Mahasiswa perlu diberi pengalaman membandingkan beberapa jenis AI melalui tugas praktik. Misalnya, mahasiswa diminta menggunakan chatbot untuk menjelaskan konsep ikatan kimia, menggunakan AI generatif untuk membuat LKPD, menggunakan simulasi untuk menjelaskan geometri molekul, menggunakan analitik sederhana untuk membaca hasil kuis, dan menggunakan AI untuk menyusun rubrik penilaian. Setelah itu, mahasiswa diminta mengevaluasi akurasi, kelebihan, kelemahan, risiko miskonsepsi, dan kelayakan penggunaan tiap jenis AI dalam kelas kimia.

Dengan cara tersebut, mahasiswa tidak hanya mengetahui istilah AI, tetapi juga memahami fungsi pedagogisnya. Mereka belajar bahwa AI berbasis aturan cocok untuk tugas yang terstruktur, machine learning cocok untuk analisis pola data, deep learning cocok untuk pemrosesan data kompleks, generative AI cocok untuk produksi konten dan dialog, tutor cerdas cocok untuk bimbingan adaptif, learning analytics cocok untuk pengambilan keputusan berbasis data, dan virtual laboratory cocok untuk simulasi eksperimen. Pemahaman semacam ini akan membantu calon guru kimia memilih teknologi berdasarkan tujuan pembelajaran, bukan berdasarkan popularitas aplikasi.

Akhirnya, perkembangan jenis-jenis AI dalam pendidikan harus dipahami sebagai peluang sekaligus tantangan. Peluangnya terletak pada kemampuan AI memperkaya bahan ajar, mempercepat umpan balik, mempersonalisasi pembelajaran, memvisualisasikan konsep abstrak, dan membantu guru merancang pembelajaran. Tantangannya terletak pada validitas konsep, bias, privasi data, integritas akademik, ketergantungan teknologi, dan risiko hilangnya kedalaman berpikir. Karena itu, pendidikan kimia berbasis AI harus berpegang pada prinsip utama: teknologi harus melayani tujuan pendidikan, bukan pendidikan yang tunduk pada teknologi.

Subbab berikutnya akan membahas **machine learning, deep learning, dan generative AI** secara lebih khusus. Pembahasan tersebut diperlukan karena ketiga istilah ini sering digunakan secara

bergantian, padahal masing-masing memiliki dasar kerja, karakteristik, dan implikasi berbeda dalam pembelajaran kimia.

1.4 Machine Learning, Deep Learning, dan Generative AI

Pembahasan tentang kecerdasan buatan dalam pembelajaran kimia tidak dapat dilepaskan dari tiga istilah penting: **machine learning**, **deep learning**, dan **generative AI**. Ketiganya sering digunakan dalam percakapan populer secara bergantian, padahal secara konseptual memiliki ruang lingkup, cara kerja, dan implikasi yang berbeda. Pemahaman yang tepat terhadap ketiga istilah ini penting agar guru, calon guru, dosen, dan mahasiswa pendidikan kimia tidak sekadar menggunakan AI secara praktis, tetapi juga memahami landasan teknologis yang memengaruhi kualitas, peluang, dan risiko penggunaannya.

Dalam file deskripsi mata kuliah, machine learning, deep learning, model bahasa besar, sistem rekomendasi, chatbot edukatif, dan generative AI disebut sebagai bagian dari ruang lingkup materi konsep dasar AI dalam pendidikan kimia. Hal ini menunjukkan bahwa mata kuliah ini tidak hanya mengajarkan penggunaan aplikasi AI, tetapi juga membangun literasi konseptual agar mahasiswa mampu membedakan jenis teknologi, memahami batasannya, dan menerapkannya secara pedagogis dalam pembelajaran kimia.

Secara sederhana, hubungan antara AI, machine learning, deep learning, dan generative AI dapat dijelaskan sebagai hubungan bertingkat. **Artificial intelligence** adalah payung besar yang mencakup berbagai upaya untuk membuat sistem komputasional mampu melakukan tugas yang biasanya memerlukan kecerdasan manusia. **Machine learning** adalah bagian dari AI yang membuat sistem mampu belajar dari data. **Deep learning** adalah bagian dari machine learning yang menggunakan jaringan saraf tiruan berlapis banyak untuk mempelajari pola kompleks. **Generative AI** adalah kelompok sistem AI yang mampu menghasilkan konten baru, seperti teks, gambar, kode, audio, video, struktur molekul, atau rancangan pembelajaran.

Machine learning dapat dipahami sebagai pendekatan komputasional yang memungkinkan mesin menemukan pola dari data tanpa seluruh aturan harus ditulis secara manual oleh manusia. Dalam pendekatan tradisional berbasis aturan, pengembang harus menentukan instruksi secara eksplisit. Misalnya, jika jawaban siswa tidak menyetarakan jumlah atom hidrogen di kiri dan kanan reaksi, sistem memberi peringatan. Dalam machine learning, sistem dilatih dengan banyak contoh data, lalu membangun model yang dapat mengenali pola kesalahan, membuat prediksi, atau mengelompokkan respons. Dengan demikian, machine learning tidak sekadar menjalankan aturan, tetapi membangun kemampuan prediktif berdasarkan data.

Dalam pembelajaran kimia, machine learning dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan. Pertama, machine learning dapat membantu **menganalisis kesulitan belajar siswa**. Jika tersedia data hasil kuis, jawaban latihan, waktu pengerjaan, dan pola kesalahan, sistem dapat mengidentifikasi topik mana yang paling sulit bagi siswa. Kedua, machine learning dapat membantu **memprediksi kebutuhan remedial**. Misalnya, siswa yang sering salah pada konversi mol dan massa dapat direkomendasikan untuk mempelajari kembali konsep mol sebelum masuk ke stoikiometri reaksi. Ketiga, machine learning dapat digunakan untuk **mengelompokkan miskonsepsi** berdasarkan pola jawaban. Keempat, machine learning dapat membantu

personalisasi pembelajaran, yaitu menyarankan materi, latihan, atau umpan balik yang sesuai dengan kebutuhan masing-masing siswa.

Namun, machine learning memiliki prasyarat penting, yaitu data yang cukup, relevan, dan berkualitas. Jika data yang digunakan tidak representatif, maka model yang dihasilkan dapat memberikan prediksi yang bias atau tidak tepat. Misalnya, jika data latihan hanya berasal dari siswa dengan kemampuan tinggi, sistem mungkin tidak akurat ketika digunakan untuk siswa yang membutuhkan bimbingan dasar. Jika data respons siswa mengandung kesalahan penilaian, sistem dapat mempelajari pola yang keliru. Karena itu, dalam pendidikan kimia, penggunaan machine learning harus disertai pemahaman tentang kualitas data, konteks pembelajaran, dan validitas interpretasi.

Machine learning juga tidak boleh dianggap sebagai pengganti penilaian guru. Sistem dapat membantu mengidentifikasi pola, tetapi guru tetap perlu menafsirkan makna pedagogisnya. Sebagai contoh, jika sistem menunjukkan bahwa siswa banyak salah menjawab soal kesetimbangan kimia, guru masih perlu memeriksa apakah kesalahan itu disebabkan oleh miskonsepsi tentang reaksi bolak-balik, kesulitan matematika, ketidakmampuan membaca grafik, atau kurangnya pemahaman terhadap prinsip Le Chatelier. Data dapat memberi sinyal, tetapi interpretasi tetap memerlukan keahlian pedagogis dan penguasaan kimia.

Deep learning merupakan perkembangan lebih lanjut dari machine learning. Pendekatan ini menggunakan jaringan saraf tiruan berlapis-lapis untuk memproses pola yang lebih kompleks. Istilah “deep” merujuk pada banyaknya lapisan pemrosesan dalam model. Setiap lapisan dapat mempelajari representasi tertentu dari data, lalu lapisan berikutnya memproses representasi tersebut menjadi pola yang lebih abstrak. Pendekatan ini sangat kuat dalam tugas yang melibatkan data kompleks, seperti gambar, bahasa, suara, video, pola molekul, dan data ilmiah berdimensi tinggi.

Dalam dunia kimia modern, deep learning telah banyak digunakan untuk prediksi sifat molekul, desain obat, analisis struktur protein, pengenalan pola spektrum, prediksi reaktivitas, dan kimia komputasi. Dalam pendidikan kimia, deep learning tidak selalu diajarkan sebagai teknik komputasi tingkat lanjut, tetapi penting dipahami secara konseptual karena banyak aplikasi AI pendidikan yang digunakan mahasiswa dan guru bekerja dengan prinsip deep learning. Model bahasa besar, sistem pengenalan gambar, generator visual, dan beberapa sistem analitik pembelajaran modern menggunakan pendekatan deep learning.

Kekuatan deep learning terletak pada kemampuannya mempelajari pola yang tidak mudah dituliskan sebagai aturan eksplisit. Dalam pembelajaran kimia, banyak hal yang memang sulit dirumuskan dengan aturan sederhana. Misalnya, menilai kualitas penjelasan siswa tentang ikatan hidrogen tidak cukup dengan melihat ada atau tidaknya kata “hidrogen” dan “elektronegatif”. Guru harus menilai apakah siswa memahami bahwa ikatan hidrogen terjadi karena interaksi antara atom H yang terikat pada atom sangat elektronegatif dengan pasangan elektron bebas atom elektronegatif lain. Deep learning berpotensi membantu memproses variasi bahasa jawaban siswa, meskipun tetap memerlukan validasi.

Kelemahan utama deep learning adalah sifatnya yang sering sulit dijelaskan secara transparan. Banyak model deep learning bekerja sebagai *black box*, yaitu sistem menghasilkan keluaran, tetapi proses internal yang menyebabkan keluaran tersebut tidak mudah dipahami oleh pengguna. Dalam pendidikan, persoalan ini sangat penting. Guru dan dosen tidak cukup hanya mengetahui bahwa AI memberi skor tertentu; mereka perlu memahami alasan pedagogis di balik penilaian itu. Jika sistem menyatakan bahwa suatu jawaban siswa salah, guru perlu tahu bagian mana yang salah dan mengapa. Oleh karena itu, penggunaan deep learning dalam pendidikan perlu disertai prinsip keterjelasan, akuntabilitas, dan evaluasi manusia.

Generative AI adalah bentuk AI yang kini paling banyak menarik perhatian pendidikan. Generative AI mampu menghasilkan konten baru berdasarkan masukan pengguna. Konten tersebut dapat berupa teks penjelasan, soal, ringkasan, rubrik, LKPD, skenario pembelajaran, kode program, gambar, audio, video, atau bahkan rancangan struktur molekul. UNESCO menjelaskan bahwa generative AI membawa peluang besar dalam pendidikan dan riset, tetapi harus diarahkan melalui kebijakan, perlindungan data, pengembangan kapasitas pendidik, dan visi pendidikan yang berpusat pada manusia.

Dalam pembelajaran kimia, generative AI memiliki potensi yang sangat besar karena dapat membantu guru dan mahasiswa dalam pengembangan perangkat pembelajaran. File deskripsi mata kuliah menegaskan bahwa AI dapat digunakan untuk menyusun modul, LKPD, media pembelajaran, soal HOTS, rubrik penilaian, peta konsep, infografik, simulasi eksperimen, virtual laboratory, animasi molekul, analisis miskonsepsi, serta rancangan pembelajaran berbasis meaningful learning, mindful learning, dan joyful learning. Dengan demikian, generative AI dapat berfungsi sebagai asisten desain pembelajaran, asisten penulis akademik, asisten pembuatan media, asisten asesmen, dan asisten refleksi pedagogis.

Salah satu contoh paling nyata adalah penggunaan generative AI untuk menyusun penjelasan konsep kimia secara bertahap. Guru dapat meminta AI menjelaskan konsep ikatan kovalen untuk siswa SMA, kemudian meminta versi yang lebih sederhana, versi analogi, versi dengan contoh kehidupan sehari-hari, atau versi yang menghubungkan level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Dalam situasi ini, AI membantu guru menghasilkan variasi penjelasan. Namun, guru tetap harus memeriksa apakah penjelasan tersebut akurat, tidak menimbulkan miskonsepsi, dan sesuai dengan level peserta didik.

Generative AI juga dapat membantu pembuatan soal. Guru dapat meminta AI membuat soal pilihan ganda tentang laju reaksi, soal uraian tentang kesetimbangan kimia, soal HOTS tentang pencemaran air, atau rubrik penilaian proyek elektrokimia. Akan tetapi, soal yang dihasilkan AI harus divalidasi. Guru perlu memeriksa apakah indikator soal sesuai tujuan pembelajaran, apakah kunci jawaban benar, apakah pengecoh berfungsi, apakah tingkat kesulitan sesuai, dan apakah soal tidak ambigu. Dalam konteks pendidikan kimia, kesalahan kecil dalam angka, satuan, persamaan reaksi, atau asumsi konsep dapat mengubah validitas soal secara keseluruhan.

Studi dalam *Journal of Chemical Education* menunjukkan bahwa calon guru kimia yang menggunakan generative AI sering kali pada awalnya mengandalkan strategi prompt sederhana atau *copy-paste*, sehingga perlu dibimbing untuk mengembangkan strategi prompting yang lebih baik. Temuan ini penting karena menunjukkan bahwa kemampuan menggunakan generative AI

tidak otomatis muncul hanya karena mahasiswa dapat mengakses aplikasi. Mereka perlu mempelajari cara menyusun prompt yang jelas, kontekstual, bertahap, dan berbasis tujuan pembelajaran. Oleh sebab itu, prompt engineering menjadi bagian penting dalam mata kuliah ini.

Generative AI juga dapat digunakan dalam pengembangan praktikum kimia, tetapi penggunaannya harus sangat hati-hati. Artikel *Journal of Chemical Education* tentang penggunaan ChatGPT untuk merancang aktivitas laboratorium kimia menunjukkan bahwa prompt engineering dapat membantu menghasilkan rancangan aktivitas laboratorium, tetapi potensi dan tantangannya perlu dievaluasi secara kritis dari sisi kelayakan ilmiah, pedagogis, dan keselamatan. Dalam pembelajaran kimia, prosedur praktikum tidak boleh dibuat hanya berdasarkan keluaran AI tanpa pemeriksaan guru atau dosen. Kesalahan dalam konsentrasi larutan, urutan pencampuran bahan, alat pelindung diri, atau pembuangan limbah dapat menimbulkan risiko keselamatan.

Perbedaan antara machine learning, deep learning, dan generative AI dapat dijelaskan melalui contoh pembelajaran kimia. Jika sebuah sistem menganalisis data nilai siswa dan memprediksi siapa yang membutuhkan remedial pada materi stoikiometri, sistem tersebut menggunakan machine learning. Jika sebuah sistem mengenali gambar struktur molekul atau pola respons teks siswa menggunakan jaringan saraf berlapis, sistem tersebut menggunakan deep learning. Jika sebuah sistem menghasilkan LKPD, soal HOTS, penjelasan konsep, atau simulasi dialog pembelajaran, sistem tersebut bekerja sebagai generative AI. Ketiganya saling berhubungan, tetapi tidak identik.

Dalam perspektif pedagogis, machine learning lebih banyak berperan dalam **analisis dan prediksi**. Deep learning berperan dalam **pemrosesan pola kompleks**. Generative AI berperan dalam **produksi konten dan interaksi bahasa**. Bagi guru kimia, perbedaan ini membantu menentukan fungsi penggunaan. Jika guru ingin mengetahui pola kesulitan siswa, pendekatan analitik berbasis machine learning relevan. Jika guru ingin menggunakan sistem yang dapat mengenali gambar atau memproses bahasa kompleks, deep learning berperan di baliknya. Jika guru ingin menghasilkan bahan ajar, soal, atau dialog pembelajaran, generative AI lebih langsung digunakan.

Namun, ketiga pendekatan tersebut memiliki satu kesamaan penting: semuanya bergantung pada data dan desain. AI tidak netral sepenuhnya. Data yang digunakan untuk melatih model, tujuan sistem, cara model dievaluasi, dan konteks penggunaannya memengaruhi hasil. Jika model dilatih dengan data yang tidak memadai atau kurang relevan, hasilnya dapat tidak sesuai dengan kebutuhan pendidikan kimia. Jika sistem tidak dirancang untuk memperhatikan keselamatan laboratorium, ia dapat menghasilkan rekomendasi praktikum yang berisiko. Jika sistem tidak memahami konteks kurikulum lokal, ia dapat menyarankan materi yang tidak sesuai dengan jenjang siswa. Karena itu, literasi AI harus mencakup pemahaman terhadap data, model, konteks, dan validasi.

Dalam pembelajaran kimia, risiko kesalahan AI menjadi lebih serius karena kimia memiliki struktur konsep yang saling terkait. Kesalahan pada konsep dasar dapat merambat ke konsep lanjutan. Misalnya, jika AI menjelaskan ikatan ionik semata-mata sebagai “atom saling berbagi elektron”, siswa dapat mencampuradukkan ikatan ionik dan kovalen. Jika AI menjelaskan katalis sebagai zat yang “menggeser kesetimbangan”, siswa dapat membangun miskonsepsi tentang

fungsi katalis. Jika AI menyatakan bahwa semua reaksi eksoterm berlangsung spontan, siswa dapat salah memahami hubungan antara entalpi, entropi, dan energi bebas Gibbs. Oleh karena itu, penggunaan AI dalam pembelajaran kimia harus selalu dikaitkan dengan validasi konsep.

Generative AI juga menghadirkan tantangan epistemologis. Dalam ilmu kimia, pengetahuan dibangun melalui observasi, eksperimen, teori, pemodelan, pengukuran, dan validasi komunitas ilmiah. Sebaliknya, generative AI menghasilkan jawaban berdasarkan pola data dan probabilitas bahasa. Jawaban yang tampak rapi belum tentu memiliki dasar eksperimen atau rujukan ilmiah yang benar. Karena itu, pendidik kimia harus mengajarkan kepada siswa bahwa AI bukan sumber kebenaran final. AI dapat menjadi mitra eksplorasi, tetapi hasilnya harus diperiksa melalui buku teks, jurnal, data eksperimen, simulasi yang valid, dan penalaran ilmiah.

Dalam konteks desain pembelajaran, machine learning, deep learning, dan generative AI dapat dipadukan secara produktif. Misalnya, dalam satu skenario pembelajaran asam-basa, guru menggunakan platform kuis untuk mengumpulkan data jawaban siswa. Sistem machine learning menganalisis pola kesalahan dan menunjukkan bahwa banyak siswa belum memahami perbedaan asam kuat dan asam pekat. Guru kemudian menggunakan generative AI untuk membuat penjelasan remedial, analogi, dan soal latihan tambahan. Jika tersedia media visual berbasis deep learning atau simulasi, siswa dapat melihat representasi partikel larutan asam dalam berbagai konsentrasi. Setelah itu, guru memvalidasi semua materi dan mengarahkan diskusi kelas. Dalam skenario ini, AI digunakan sebagai ekosistem pendukung, bukan pengganti guru.

Penerapan AI juga harus dikaitkan dengan meaningful learning, mindful learning, dan joyful learning sebagaimana ditegaskan dalam deskripsi mata kuliah. Machine learning dapat mendukung meaningful learning dengan membantu mengidentifikasi kebutuhan konseptual siswa sehingga pembelajaran lebih relevan. Deep learning dapat mendukung pemahaman representasional melalui visualisasi yang lebih kaya. Generative AI dapat mendukung mindful learning jika digunakan untuk refleksi, pertanyaan metakognitif, dan dialog kritis. Generative AI juga dapat mendukung joyful learning melalui aktivitas kreatif seperti membuat komik kimia, simulasi naratif, permainan konsep, atau proyek visual. Namun, semua ini hanya terjadi jika AI dirancang untuk memperdalam belajar, bukan sekadar mempercepat penyelesaian tugas.

Dalam praktik perkuliahan, mahasiswa calon guru kimia perlu dilatih membedakan keluaran dari ketiga pendekatan tersebut. Mereka dapat diberi tugas untuk menganalisis contoh sistem pembelajaran: mana yang termasuk machine learning, mana yang berbasis deep learning, dan mana yang merupakan generative AI. Misalnya, sistem yang memberi rekomendasi remedial berdasarkan nilai kuis dapat dikategorikan sebagai machine learning. Aplikasi yang mengenali gambar alat laboratorium atau struktur molekul dapat dikaitkan dengan deep learning. Chatbot yang membuat LKPD atau soal dapat dikategorikan sebagai generative AI. Latihan klasifikasi ini penting agar mahasiswa tidak menyamaratakan semua teknologi sebagai “AI” tanpa memahami fungsinya.

Mahasiswa juga perlu dilatih membuat keputusan pedagogis berdasarkan jenis AI. Jika tujuan pembelajaran adalah memahami konsep laju reaksi, generative AI dapat digunakan untuk membuat analogi dan pertanyaan diskusi. Jika tujuan pembelajaran adalah menganalisis data eksperimen, machine learning sederhana atau spreadsheet berbantuan AI dapat digunakan untuk

menemukan pola. Jika tujuan pembelajaran adalah memahami bentuk molekul, visualisasi berbasis AI atau simulasi dapat digunakan. Jika tujuan pembelajaran adalah membangun sikap etis, mahasiswa dapat diminta membandingkan jawaban AI dengan sumber akademik dan menulis refleksi tentang batas penggunaan AI.

Kajian mutakhir tentang generative AI dalam pendidikan menegaskan bahwa teknologi ini dapat membantu personalisasi konten dan asesmen performa kompleks, tetapi juga menuntut verifikasi keluaran, transparansi desain, dan perhatian terhadap bias data. Prinsip ini sangat relevan untuk pendidikan kimia. Semakin besar kemampuan AI menghasilkan konten, semakin besar pula tanggung jawab pendidik untuk memeriksa, menyeleksi, dan menyesuaikan konten tersebut. AI yang kuat tidak mengurangi peran guru; justru menuntut guru yang lebih kritis, lebih literat teknologi, dan lebih kuat dalam penguasaan konsep.

Di sisi lain, perkembangan generative AI dalam kimia komputasi juga menunjukkan bahwa AI tidak hanya relevan untuk pendidikan, tetapi juga untuk perkembangan ilmu kimia itu sendiri. Kajian tentang generative AI untuk computational chemistry menunjukkan bahwa metode generatif mulai digunakan untuk sampling struktur molekul, pengembangan force field, dan percepatan simulasi, tetapi masih menghadapi tantangan dalam memprediksi fenomena kimia yang benar-benar baru dan harus tetap terikat pada prinsip kimia inti. Bagi pendidikan kimia, hal ini memberi pesan penting: AI dapat menjadi jembatan antara pembelajaran kimia, kimia komputasi, dan riset modern, tetapi penggunaannya tetap harus menghormati prinsip ilmiah.

Dengan demikian, machine learning, deep learning, dan generative AI merupakan tiga konsep kunci yang harus dipahami dalam pendidikan kimia berbasis AI. Machine learning membantu sistem belajar dari data. Deep learning membantu sistem memproses pola kompleks melalui jaringan saraf berlapis. Generative AI membantu menghasilkan konten baru dan membuka ruang interaksi berbasis bahasa alami. Ketiganya dapat memperkaya pembelajaran kimia, mulai dari analisis kesulitan belajar, visualisasi konsep, pengembangan bahan ajar, asesmen, praktikum virtual, hingga refleksi etis. Namun, ketiganya juga memiliki keterbatasan yang harus dipahami secara kritis.

Subbab berikutnya akan membahas **Large Language Models dan Chatbot Edukatif**. Pembahasan tersebut penting karena dalam praktik pembelajaran saat ini, guru dan mahasiswa paling sering berinteraksi dengan AI melalui model bahasa besar dan chatbot. Pemahaman tentang cara kerja, peluang, batasan, serta strategi penggunaannya akan membantu pendidik kimia memanfaatkan AI secara lebih tepat, kritis, dan bertanggung jawab.

1.5 Large Language Models dan Chatbot Edukatif

Large Language Models atau **model bahasa besar** merupakan salah satu bentuk kecerdasan buatan yang paling banyak digunakan dalam dunia pendidikan saat ini. Model ini menjadi dasar bagi berbagai chatbot edukatif, asisten penulisan, sistem tanya jawab, generator bahan ajar, alat bantu penyusunan soal, serta berbagai aplikasi pembelajaran berbasis dialog. Dalam konteks pembelajaran kimia, Large Language Models atau LLM sangat penting dipahami karena guru, dosen, mahasiswa, dan peserta didik semakin sering berinteraksi dengan AI melalui bahasa alami, bukan melalui kode program atau antarmuka teknis yang rumit.

Secara konseptual, Large Language Models adalah model AI yang dilatih menggunakan kumpulan teks dalam jumlah sangat besar untuk mengenali pola bahasa, hubungan antaristilah, struktur kalimat, konteks, dan kemungkinan respons yang sesuai terhadap suatu masukan. Model ini tidak bekerja seperti buku teks yang menyimpan semua informasi secara eksplisit dalam bentuk halaman dan paragraf. Model bahasa besar bekerja dengan mempelajari pola statistik dari data pelatihan, lalu menghasilkan respons berdasarkan konteks prompt yang diberikan pengguna. Karena itu, LLM dapat menghasilkan jawaban yang tampak lancar, runtut, dan meyakinkan, tetapi keluaran tersebut tetap perlu diperiksa kebenarannya, terutama ketika menyangkut konsep ilmiah seperti kimia.

Dalam file deskripsi mata kuliah, model bahasa besar dan chatbot edukatif disebut sebagai bagian dari materi konsep dasar AI dalam pendidikan kimia. Dokumen tersebut juga menegaskan bahwa mahasiswa perlu memahami AI bukan hanya sebagai teknologi, melainkan sebagai bagian dari desain pembelajaran kimia yang digunakan secara kritis, kreatif, etis, dan pedagogis. Dengan demikian, LLM dalam pembelajaran kimia harus dipahami sebagai alat pedagogis yang dapat membantu proses belajar, tetapi tidak boleh diperlakukan sebagai otoritas tunggal kebenaran ilmiah.

Kekuatan utama LLM terletak pada kemampuannya melakukan interaksi berbasis bahasa. Dalam pembelajaran tradisional, peserta didik sering kali hanya memperoleh penjelasan dari guru, buku, atau video. Dengan LLM, siswa dapat mengajukan pertanyaan lanjutan, meminta penjelasan ulang, meminta contoh berbeda, meminta analogi, meminta latihan tambahan, atau meminta umpan balik terhadap jawabannya. Interaksi semacam ini dapat memperkuat proses belajar karena siswa tidak hanya menerima informasi, tetapi juga dapat berdialog dengan sistem yang merespons kebutuhan belajarnya secara langsung.

Dalam pembelajaran kimia, kemampuan dialogis LLM sangat berguna karena banyak konsep kimia memerlukan penjelasan bertahap. Misalnya, siswa yang tidak memahami konsep mol dapat meminta AI menjelaskan dari sudut pandang massa, jumlah partikel, volume gas, atau hubungan dengan persamaan reaksi. Siswa yang bingung dengan kesetimbangan kimia dapat meminta penjelasan menggunakan analogi, grafik, atau contoh kehidupan sehari-hari. Mahasiswa calon guru dapat meminta AI membantu menyusun berbagai versi penjelasan untuk siswa SMP, SMA, atau mahasiswa awal. Dengan demikian, LLM memungkinkan fleksibilitas penjelasan yang sulit dicapai jika guru hanya mengandalkan satu format bahan ajar.

Namun, fleksibilitas tersebut harus dikendalikan oleh validasi ilmiah. Salah satu risiko utama LLM adalah **halusinasi**, yaitu keluaran yang terdengar benar tetapi sebenarnya tidak akurat. Dalam kimia, halusinasi dapat muncul dalam bentuk rumus yang salah, persamaan reaksi yang tidak setara, interpretasi data yang keliru, struktur molekul yang tidak masuk akal, atau prosedur eksperimen yang tidak aman. Kajian dalam *Journal of Chemical Education* menunjukkan bahwa model GPT-3.5 memiliki kinerja buruk pada beberapa soal perhitungan pH tingkat sarjana, terutama pada persoalan garam dan titrasi; model tersebut dapat membuat kesalahan matematika dan memilih strategi yang tidak tepat meskipun penjelasannya terlihat meyakinkan. Temuan ini menjadi peringatan penting bahwa kelancaran bahasa AI tidak sama dengan ketepatan konsep kimia.

Chatbot edukatif adalah aplikasi LLM atau sistem AI lain yang dirancang untuk berinteraksi dengan peserta didik melalui percakapan. Chatbot dapat membantu menjawab pertanyaan, memberi petunjuk, menyarankan latihan, memberi umpan balik, atau memandu refleksi. Dalam pembelajaran kimia, chatbot edukatif dapat digunakan sebagai tutor pendamping untuk topik-topik seperti struktur atom, sistem periodik unsur, ikatan kimia, stoikiometri, larutan elektrolit, asam-basa, kesetimbangan, termokimia, kinetika reaksi, elektrokimia, dan kimia organik dasar.

Peran chatbot edukatif tidak harus sama dengan guru. Guru memiliki tanggung jawab pedagogis, emosional, sosial, etis, dan profesional yang tidak dapat digantikan oleh chatbot. Chatbot dapat memberi respons cepat, tetapi tidak benar-benar mengenal latar belakang siswa secara utuh. Chatbot dapat menjawab pertanyaan, tetapi tidak selalu memahami dinamika kelas. Chatbot dapat menghasilkan soal, tetapi tidak otomatis menjamin validitas asesmen. Chatbot dapat memberi motivasi, tetapi tidak memiliki relasi kemanusiaan seperti guru. Oleh karena itu, chatbot edukatif sebaiknya dipahami sebagai **pendamping belajar**, bukan pengganti guru.

Dalam konteks pedagogi kimia, chatbot edukatif memiliki beberapa fungsi utama. Fungsi pertama adalah **penjelasan konseptual**. Siswa dapat meminta penjelasan tentang konsep kimia dalam berbagai tingkat kesulitan. Misalnya, konsep orbital dapat dijelaskan untuk siswa SMA sebagai daerah kemungkinan ditemukannya elektron, sedangkan untuk mahasiswa dapat dijelaskan dengan mengaitkan fungsi gelombang, bilangan kuantum, dan distribusi probabilitas. LLM dapat membantu menghasilkan variasi bahasa yang sesuai dengan level siswa, selama guru memeriksa ketepatan ilmiahnya.

Fungsi kedua adalah **scaffolding**. Chatbot dapat memberi bantuan bertahap tanpa langsung memberikan jawaban akhir. Dalam soal stoikiometri, misalnya, chatbot dapat memandu siswa melalui tahapan: menulis persamaan reaksi, menyetarakan reaksi, mengubah massa menjadi mol, menggunakan perbandingan koefisien, lalu menghitung hasil akhir. Bantuan bertahap semacam ini lebih baik daripada sekadar memberikan jawaban, karena mendukung proses berpikir siswa. Dalam desain prompt, guru dapat mengarahkan chatbot agar “jangan langsung memberi jawaban, tetapi beri petunjuk bertahap”.

Fungsi ketiga adalah **umpan balik formatif**. Siswa dapat menuliskan jawabannya, lalu meminta chatbot memberikan masukan. Misalnya, siswa menulis penjelasan tentang mengapa kenaikan suhu mempercepat laju reaksi. Chatbot dapat menilai apakah siswa sudah menyebut energi kinetik, frekuensi tumbukan, orientasi tumbukan, dan energi aktivasi. Namun, umpan balik ini tetap perlu dibaca secara kritis. Guru perlu mengajarkan bahwa siswa tidak boleh menerima koreksi AI secara pasif, tetapi harus membandingkannya dengan konsep yang diajarkan, buku teks, data eksperimen, dan penjelasan guru.

Fungsi keempat adalah **generasi latihan dan variasi soal**. Guru dapat meminta LLM membuat beberapa variasi soal dengan topik yang sama tetapi tingkat kesulitan berbeda. Misalnya, soal mol dasar, soal stoikiometri reaksi, soal pereaksi pembatas, dan soal persen hasil. Variasi ini membantu diferensiasi pembelajaran. Akan tetapi, soal buatan AI harus diperiksa, terutama angka, satuan, kunci jawaban, langkah penyelesaian, dan kesesuaian dengan tujuan pembelajaran. Dalam kimia, soal numerik yang tampak sederhana dapat menjadi tidak valid jika data tidak konsisten.

Fungsi kelima adalah **pengembangan bahan ajar dan media pembelajaran**. LLM dapat membantu menyusun ringkasan materi, peta konsep, glosarium, skenario diskusi, LKPD, modul, rubrik, dan refleksi. File deskripsi mata kuliah menekankan bahwa mahasiswa dilatih menggunakan AI untuk menyusun modul, LKPD, media, soal HOTS, rubrik, peta konsep, infografik, simulasi eksperimen, virtual laboratory, animasi molekul, dan analisis miskonsepsi. Fungsi ini sangat penting karena calon guru kimia tidak hanya perlu memahami AI, tetapi juga harus mampu menghasilkan perangkat pembelajaran yang layak digunakan di kelas.

Fungsi keenam adalah **refleksi metakognitif**. Chatbot dapat digunakan untuk membantu siswa merefleksikan proses belajarnya. Misalnya, siswa dapat diminta bertanya kepada chatbot: "Bagian mana dari jawaban saya tentang kesetimbangan kimia yang masih lemah?" atau "Pertanyaan apa yang perlu saya pikirkan untuk memahami elektrokimia lebih dalam?" Jika diarahkan dengan baik, chatbot dapat membantu siswa menyadari kesalahan berpikir, mengidentifikasi konsep yang belum dikuasai, dan merencanakan strategi belajar. Fungsi ini berkaitan dengan mindful learning, yaitu pembelajaran yang melibatkan kesadaran, refleksi, dan kontrol diri.

Fungsi ketujuh adalah **personalisasi penjelasan**. Tidak semua siswa membutuhkan penjelasan yang sama. Ada siswa yang lebih mudah memahami konsep melalui analogi, ada yang membutuhkan visualisasi, ada yang memerlukan contoh numerik, dan ada yang lebih terbantu oleh pertanyaan pemandu. LLM dapat menghasilkan penjelasan dalam berbagai format. Namun, personalisasi yang diberikan LLM tidak boleh dipahami sebagai diagnosis psikologis yang pasti. Guru tetap harus mengenal karakteristik siswa melalui observasi, asesmen, dialog, dan pengalaman kelas.

Dalam dunia pendidikan tinggi, LLM juga mulai dikembangkan secara lebih khusus untuk konteks mata kuliah tertentu. Salah satu contoh adalah ChemTAsk, sebuah paradigma berbasis LLM dan retrieval-augmented generation untuk tanya jawab otomatis di kelas kimia tingkat lanjut. Sistem seperti ini memanfaatkan bahan kuliah, transkrip, dan publikasi primer agar respons lebih sesuai dengan konteks pembelajaran. Laporan pengembangannya menunjukkan bahwa pendekatan berbasis RAG dapat memberikan bantuan yang cepat dan relevan, walaupun asisten manusia tetap lebih presisi dalam beberapa aspek dan lebih memahami kekhususan kelas. Hal ini menunjukkan bahwa chatbot edukatif yang baik sebaiknya tidak hanya mengandalkan pengetahuan umum model, tetapi juga mengaitkan respons dengan sumber pembelajaran yang tervalidasi.

Dalam konteks kimia, pengembangan LLM khusus bidang kimia juga mulai muncul. ChemLLM, misalnya, dikembangkan sebagai model bahasa besar untuk tugas-tugas kimia dengan dataset instruksi dan benchmark kimia. Pengembangan semacam ini menunjukkan bahwa LLM umum belum tentu cukup untuk semua kebutuhan kimia, karena pengetahuan kimia sering tersimpan dalam basis data terstruktur, notasi khusus, struktur molekul, dan bentuk representasi yang tidak sepenuhnya sama dengan teks umum. Bagi pendidikan kimia, hal ini penting karena menunjukkan perlunya model, data, dan perangkat AI yang lebih domain-specific agar keluaran lebih sesuai dengan kaidah ilmu kimia.

Meski demikian, penggunaan LLM khusus kimia dalam pendidikan tetap memerlukan kehati-hatian. Model yang lebih khusus tidak otomatis bebas dari kesalahan. Ia tetap bergantung pada data pelatihan, desain evaluasi, konteks penggunaan, dan kemampuan pengguna dalam

memformulasikan pertanyaan. Dalam pembelajaran kimia, keakuratan bukan hanya menyangkut istilah, tetapi juga hubungan konsep, representasi, satuan, prosedur eksperimen, keselamatan laboratorium, dan argumentasi ilmiah. Oleh karena itu, guru dan dosen tetap menjadi validator utama.

Salah satu keterampilan penting dalam menggunakan LLM adalah kemampuan menyusun prompt. Prompt yang baik bukan sekadar pertanyaan singkat, tetapi instruksi yang memuat tujuan, konteks, peran, level peserta didik, batasan materi, format keluaran, dan kriteria kualitas. Misalnya, prompt "jelaskan ikatan kimia" terlalu umum. Prompt yang lebih baik adalah: "Bertindaklah sebagai guru kimia SMA. Jelaskan perbedaan ikatan ionik, kovalen, dan logam untuk siswa kelas X dengan bahasa sederhana, berikan contoh senyawa, hubungkan dengan transfer atau pemakaian bersama elektron, lalu akhiri dengan tiga pertanyaan diagnostik miskonsepsi." Prompt kedua lebih pedagogis karena memberikan konteks, tujuan, target pembaca, isi yang diharapkan, dan format output.

Dalam mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia*, keterampilan prompt menjadi kompetensi utama karena mahasiswa tidak hanya diminta menggunakan AI, tetapi juga mengembangkan prompt yang efektif untuk kebutuhan pembelajaran kimia. Dokumen mata kuliah menyebutkan bahwa salah satu capaian pembelajaran adalah mahasiswa mampu mengembangkan prompt yang efektif untuk kebutuhan pembelajaran kimia. Oleh karena itu, LLM dan chatbot edukatif perlu dipelajari bersama prompt engineering, bukan sebagai teknologi yang berdiri sendiri.

Di sisi lain, LLM juga dapat menimbulkan ketergantungan jika digunakan tanpa strategi belajar yang tepat. Siswa dapat tergoda untuk meminta jawaban langsung daripada berusaha memahami konsep. Mahasiswa dapat menggunakan chatbot untuk menyusun tugas tanpa membaca sumber akademik. Guru dapat mengambil bahan ajar secara mentah tanpa validasi. Jika kebiasaan ini dibiarkan, AI justru melemahkan nalar ilmiah. Oleh karena itu, penggunaan chatbot edukatif harus disertai aturan yang jelas: kapan AI boleh digunakan, untuk tujuan apa, sejauh mana bantuan diperbolehkan, bagaimana cara mencantumkan penggunaan AI, dan bagaimana memverifikasi hasilnya.

Dalam pembelajaran kimia, aturan penggunaan chatbot dapat dibuat lebih spesifik. Misalnya, siswa boleh menggunakan chatbot untuk meminta penjelasan ulang konsep, tetapi tidak boleh menyalin jawaban untuk tugas tanpa analisis sendiri. Siswa boleh meminta latihan tambahan, tetapi harus menuliskan langkah penyelesaian sendiri. Mahasiswa boleh menggunakan AI untuk membuat draf LKPD, tetapi harus memeriksa akurasi konsep, keselamatan praktikum, kesesuaian kurikulum, dan validitas asesmen. Guru boleh menggunakan AI untuk membuat soal, tetapi harus memvalidasi kunci jawaban, distraktor, dan rubrik. Aturan semacam ini membantu menjadikan AI sebagai alat belajar, bukan alat kecurangan.

Isu lain yang perlu diperhatikan adalah bahasa. Banyak LLM dilatih dengan dominasi data berbahasa Inggris. Akibatnya, respons dalam bahasa lain, termasuk bahasa Indonesia, dapat bervariasi kualitasnya. Dalam konteks pendidikan kimia di Indonesia, guru perlu memperhatikan apakah istilah kimia diterjemahkan dengan tepat, apakah bahasa sesuai jenjang siswa, dan apakah konsep tidak berubah akibat terjemahan. Misalnya, istilah "equilibrium shift", "activation energy",

“limiting reagent”, “intermolecular forces”, atau “oxidation state” harus diterjemahkan dengan hati-hati agar tidak menimbulkan miskonsepsi.

Chatbot edukatif juga perlu dikaitkan dengan konteks lokal. Pembelajaran kimia di sekolah Indonesia memiliki kurikulum, capaian pembelajaran, fasilitas laboratorium, karakteristik siswa, dan budaya belajar tertentu. LLM umum mungkin memberikan contoh atau aktivitas yang tidak sesuai dengan ketersediaan alat-bahan di sekolah. Misalnya, chatbot dapat menyarankan penggunaan bahan kimia yang tidak tersedia atau tidak aman untuk sekolah. Karena itu, guru perlu memasukkan konteks lokal ke dalam prompt dan memeriksa kelayakan implementasinya.

Kekuatan LLM dalam menjelaskan dan menghasilkan teks juga harus diimbangi dengan pembelajaran berbasis bukti. Kimia bukan hanya penjelasan verbal, tetapi juga pengamatan, eksperimen, pengukuran, data, grafik, dan model. Oleh karena itu, chatbot sebaiknya tidak menggantikan kegiatan praktikum, diskusi kelompok, analisis data, atau pemecahan masalah nyata. Chatbot dapat digunakan sebelum praktikum untuk mempersiapkan konsep dan prosedur, selama praktikum sebagai alat bantu refleksi jika diizinkan, atau setelah praktikum untuk membantu analisis hasil. Namun, pengalaman empiris tetap menjadi unsur penting pembelajaran kimia.

Penggunaan LLM dalam pembelajaran kimia juga dapat membantu mahasiswa memahami hubungan antara representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Misalnya, ketika membahas reaksi pengendapan, chatbot dapat diminta menjelaskan apa yang terlihat secara makroskopik, apa yang terjadi pada level ion dalam larutan, dan bagaimana menuliskannya dalam persamaan ion bersih. Prompt seperti ini dapat membantu siswa membangun koneksi representasional. Namun, guru harus memeriksa apakah persamaan ion yang dihasilkan benar dan apakah penjelasan partikel sesuai dengan konsep kimia.

LLM juga dapat mendukung pembelajaran berbasis masalah. Guru dapat meminta chatbot membuat skenario masalah kimia kontekstual, misalnya pencemaran air oleh ion logam berat, korosi pada jembatan, pemilihan bahan kemasan makanan, atau penggunaan larutan elektrolit dalam baterai. Skenario tersebut kemudian digunakan untuk diskusi kelas, bukan langsung menjadi jawaban final. Siswa dapat diminta menganalisis masalah, mencari data, menguji argumen, dan mempresentasikan solusi. Dalam pendekatan ini, AI berperan sebagai pemantik masalah dan sumber variasi konteks.

Dalam asesmen, LLM dapat membantu menyusun soal HOTS dan rubrik, tetapi asesmen berbasis LLM juga memiliki risiko. Jika guru meminta AI membuat soal HOTS, keluaran AI sering kali tampak kompleks tetapi belum tentu benar-benar mengukur keterampilan berpikir tingkat tinggi. Soal HOTS bukan sekadar soal panjang atau konteks cerita, melainkan soal yang menuntut analisis, evaluasi, sintesis, argumentasi, atau transfer konsep. Oleh karena itu, guru harus memahami konstruksi asesmen agar dapat menilai apakah soal buatan AI benar-benar berkualitas.

Dalam riset pendidikan kimia, LLM juga dapat digunakan untuk mendukung analisis awal data kualitatif, menyusun kode tematik awal, merangkum literatur, atau membantu merancang instrumen. Namun, penggunaan ini harus transparan dan tidak menggantikan validitas metodologis. Peneliti tetap perlu menjaga audit trail, triangulasi, validasi pakar, dan etika

penelitian. LLM dapat mempercepat proses, tetapi tidak boleh menggantikan tanggung jawab ilmiah peneliti.

Agar chatbot edukatif bermanfaat, guru perlu mengembangkan strategi integrasi dalam pembelajaran. Strategi pertama adalah **AI sebagai tutor terbimbing**, yaitu siswa menggunakan chatbot dengan prompt yang telah dirancang guru. Strategi kedua adalah **AI sebagai lawan diskusi**, yaitu siswa diminta menguji atau mengkritik jawaban chatbot. Strategi ketiga adalah **AI sebagai generator contoh**, yaitu chatbot menghasilkan beberapa contoh yang kemudian dianalisis kebenarannya. Strategi keempat adalah **AI sebagai alat refleksi**, yaitu siswa menggunakan chatbot untuk mengevaluasi pemahaman sendiri. Strategi kelima adalah **AI sebagai asisten guru**, yaitu guru menggunakan chatbot untuk menyusun draf bahan ajar, soal, rubrik, atau skenario kelas.

Dari sisi etika, penggunaan LLM dan chatbot edukatif harus memperhatikan privasi data. Siswa tidak boleh memasukkan data pribadi, nilai, identitas, atau informasi sensitif ke dalam sistem AI tanpa kebijakan yang jelas. Guru dan dosen juga perlu memahami ketentuan platform yang digunakan, termasuk bagaimana data pengguna disimpan dan diproses. UNESCO menekankan pentingnya perlindungan data, kebijakan institusional, dan tata kelola dalam penggunaan generative AI di pendidikan. Dalam konteks kelas kimia, prinsip ini dapat diterjemahkan menjadi aturan sederhana: gunakan AI untuk belajar konsep dan merancang aktivitas, tetapi hindari memasukkan data pribadi siswa atau informasi yang tidak perlu.

Pada akhirnya, Large Language Models dan chatbot edukatif memberikan peluang besar bagi pembelajaran kimia, tetapi hanya jika digunakan dengan kerangka pedagogis yang benar. LLM dapat membantu menjelaskan konsep, memberi variasi contoh, menyusun latihan, mengembangkan bahan ajar, mendukung refleksi, dan memperkaya dialog belajar. Namun, LLM juga dapat keliru, bias, berhalusinasi, menyederhanakan konsep secara berlebihan, dan mendorong ketergantungan. Karena itu, pendidik kimia perlu menguasai tiga hal sekaligus: pemahaman konsep kimia, keterampilan menggunakan AI, dan sikap kritis-etis dalam memvalidasi keluaran.

Subbab berikutnya akan membahas **sistem rekomendasi, tutor cerdas, dan pembelajaran adaptif**. Pembahasan tersebut penting karena LLM dan chatbot hanyalah salah satu bentuk AI dalam pendidikan. Di luar chatbot, terdapat sistem AI lain yang dapat membantu menyesuaikan materi, memetakan kebutuhan belajar siswa, memberi latihan bertahap, dan mendukung pembelajaran kimia yang lebih personal.

1.6 Sistem Rekomendasi, Tutor Cerdas, dan Pembelajaran Adaptif

Sistem rekomendasi, tutor cerdas, dan pembelajaran adaptif merupakan tiga bentuk penerapan kecerdasan buatan yang sangat penting dalam dunia pendidikan. Ketiganya tidak selalu tampak spektakuler seperti generative AI, tetapi memiliki pengaruh mendalam terhadap cara peserta didik menerima materi, memperoleh latihan, mendapatkan umpan balik, dan menjalani proses belajar yang sesuai dengan kebutuhannya. Dalam pembelajaran kimia, ketiga sistem ini relevan karena peserta didik sering memiliki kesulitan belajar yang beragam, mulai dari kesulitan memahami konsep abstrak, kesalahan prosedural dalam perhitungan, miskonsepsi representasional, hingga lemahnya kemampuan menghubungkan data eksperimen dengan teori kimia.

File deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia* menempatkan sistem rekomendasi, chatbot edukatif, dan pembelajaran adaptif sebagai bagian dari ruang lingkup konsep dasar AI dalam pendidikan kimia. Dokumen tersebut juga menyatakan bahwa AI dapat membantu menyesuaikan materi dengan kemampuan peserta didik, gaya belajar, kebutuhan remedial, pengayaan, dan pembelajaran personal. Dengan demikian, sistem rekomendasi, tutor cerdas, dan pembelajaran adaptif bukan sekadar tambahan teknis, tetapi bagian dari desain pembelajaran kimia yang lebih responsif terhadap kebutuhan peserta didik.

Secara umum, **sistem rekomendasi** adalah sistem komputasional yang memberikan saran kepada pengguna berdasarkan data tertentu. Dalam kehidupan sehari-hari, sistem rekomendasi digunakan untuk menyarankan video, buku, produk, berita, musik, atau rute perjalanan. Dalam pendidikan, sistem rekomendasi dapat digunakan untuk menyarankan materi belajar, latihan soal, video penjelasan, aktivitas remedial, bahan pengayaan, atau urutan pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan peserta didik. Prinsip dasarnya adalah sistem membaca pola data, lalu memberikan rekomendasi yang dianggap relevan.

Dalam pembelajaran kimia, sistem rekomendasi dapat digunakan untuk membantu siswa memilih materi lanjutan berdasarkan hasil belajar sebelumnya. Misalnya, siswa yang belum menguasai konsep mol dapat direkomendasikan untuk mempelajari kembali hubungan antara massa, mol, jumlah partikel, dan volume gas sebelum masuk ke perhitungan stoikiometri reaksi. Siswa yang salah memahami kesetimbangan dapat diarahkan ke materi tentang reaksi bolak-balik, tetapan kesetimbangan, dan prinsip Le Chatelier. Siswa yang sudah menguasai konsep dasar dapat diberikan soal pengayaan berbasis konteks industri, lingkungan, atau kimia material.

Sistem rekomendasi dapat membantu guru mengatasi masalah heterogenitas kelas. Dalam satu kelas, tingkat pemahaman siswa tidak pernah benar-benar sama. Ada siswa yang cepat memahami penjelasan guru, ada yang membutuhkan contoh tambahan, ada yang perlu latihan bertahap, dan ada pula yang memerlukan pendekatan visual. Jika guru harus merancang semua jalur belajar secara manual, beban kerjanya sangat besar. AI dapat membantu memetakan kebutuhan dan menyarankan jalur belajar awal. Namun, guru tetap perlu memverifikasi apakah rekomendasi tersebut sesuai dengan tujuan pembelajaran, kurikulum, karakteristik siswa, dan konteks sekolah.

Sistem rekomendasi dalam pendidikan biasanya bekerja melalui beberapa jenis data. Pertama, data performa akademik, seperti nilai kuis, tugas, ujian, dan hasil latihan. Kedua, data aktivitas belajar, seperti waktu belajar, frekuensi membuka materi, jumlah percobaan menjawab soal, dan pola kesalahan. Ketiga, data preferensi atau respons siswa terhadap jenis materi tertentu. Keempat, data kurikulum, seperti prasyarat konsep dan urutan materi. Dalam pembelajaran kimia, data prasyarat sangat penting karena banyak konsep bersifat hierarkis. Misalnya, pemahaman stoikiometri memerlukan dasar konsep mol, persamaan reaksi, massa molar, dan hukum kekekalan massa. Jika sistem rekomendasi mengabaikan prasyarat ini, materi yang disarankan dapat menjadi tidak efektif.

Akan tetapi, sistem rekomendasi juga memiliki risiko. Jika sistem terlalu bergantung pada data kuantitatif sederhana, misalnya hanya nilai tes pilihan ganda, maka rekomendasi dapat menyederhanakan kondisi belajar siswa. Nilai rendah belum tentu berarti siswa tidak memahami konsep; bisa jadi siswa salah membaca soal, kurang teliti menghitung, atau belum terbiasa dengan

format tes. Sebaliknya, nilai tinggi belum tentu menunjukkan pemahaman mendalam; bisa jadi siswa hanya menghafal pola soal. Karena itu, sistem rekomendasi harus digunakan sebagai alat bantu diagnosis awal, bukan keputusan final.

Bentuk AI berikutnya adalah **intelligent tutoring system** atau sistem tutor cerdas. Sistem tutor cerdas dirancang untuk memberi bimbingan belajar yang lebih terstruktur dan adaptif daripada sekadar menyediakan materi. Tutor cerdas biasanya memiliki beberapa komponen utama: model domain, model siswa, model pedagogis, dan antarmuka interaksi. Model domain berisi struktur pengetahuan yang harus dipelajari. Model siswa berisi informasi tentang kondisi belajar peserta didik. Model pedagogis menentukan strategi bantuan yang diberikan. Antarmuka interaksi memungkinkan siswa berkomunikasi dengan sistem.

Dalam pembelajaran kimia, sistem tutor cerdas dapat sangat berguna untuk materi yang membutuhkan langkah-langkah pemecahan masalah. Stoikiometri adalah contoh yang sangat jelas. Banyak siswa tidak hanya kesulitan pada satu langkah, tetapi pada rangkaian langkah: memahami soal, menulis persamaan reaksi, menyetarakan reaksi, menentukan zat diketahui dan ditanya, mengubah massa menjadi mol, menggunakan perbandingan koefisien, lalu mengubah kembali mol menjadi satuan yang diminta. Tutor cerdas dapat membantu siswa secara bertahap. Ketika siswa salah pada tahap tertentu, sistem tidak harus langsung memberikan jawaban akhir, tetapi dapat memberi petunjuk yang relevan dengan kesalahan tersebut.

Pada materi asam-basa, tutor cerdas dapat membantu siswa membedakan asam kuat, asam lemah, basa kuat, basa lemah, garam terhidrolisis, larutan penyangga, dan titrasi. Pada materi elektrokimia, sistem dapat memandu siswa mengidentifikasi anode, katode, reaksi oksidasi, reaksi reduksi, arah aliran elektron, dan perhitungan potensial sel. Pada materi kesetimbangan, sistem dapat memberi latihan bertahap untuk memahami tetapan kesetimbangan, kuosien reaksi, dan pengaruh perubahan konsentrasi, tekanan, volume, serta suhu. Dalam semua kasus ini, tutor cerdas dapat menjadi scaffolding digital yang membantu siswa berlatih secara mandiri.

Keunggulan utama tutor cerdas adalah kemampuannya memberi umpan balik segera. Dalam kelas biasa, guru tidak selalu dapat memeriksa setiap langkah berpikir siswa secara langsung, terutama jika jumlah siswa banyak. Tutor cerdas dapat memberi respons cepat ketika siswa melakukan kesalahan. Umpan balik cepat sangat penting dalam pembelajaran kimia karena kesalahan kecil dapat berkembang menjadi miskonsepsi yang lebih kuat jika tidak segera dikoreksi. Misalnya, jika siswa berulang kali menyamakan “asam kuat” dengan “asam pekat”, kesalahan tersebut perlu segera diluruskan sebelum siswa masuk ke materi pH atau titrasi.

Namun, tutor cerdas juga memiliki keterbatasan. Sistem hanya dapat memberi bimbingan sesuai desain dan data yang dimiliki. Jika siswa memberikan jawaban yang tidak terduga, menggunakan bahasa yang ambigu, atau menunjukkan bentuk miskonsepsi yang belum dikenali sistem, tutor cerdas mungkin memberi respons kurang tepat. Selain itu, tidak semua aspek pembelajaran kimia dapat ditangani oleh tutor cerdas. Keterampilan eksperimen, kerja kelompok, diskusi argumentatif, sikap ilmiah, dan penilaian konteks sosial-kimia tetap membutuhkan peran guru dan aktivitas kelas nyata.

Bentuk ketiga adalah **pembelajaran adaptif**. Pembelajaran adaptif adalah pendekatan pembelajaran yang menyesuaikan materi, metode, kecepatan, tingkat kesulitan, atau bentuk umpan balik berdasarkan kondisi peserta didik. AI dapat memperkuat pembelajaran adaptif karena mampu memproses data belajar secara cepat dan memberikan jalur belajar yang berbeda untuk siswa yang berbeda. Dalam pembelajaran kimia, pendekatan adaptif sangat penting karena kesulitan siswa sering berbeda pada setiap topik. Ada siswa yang kuat dalam hafalan konsep tetapi lemah dalam perhitungan. Ada yang mampu menghitung tetapi gagal memahami representasi partikel. Ada yang memahami teori tetapi lemah dalam interpretasi grafik dan data eksperimen.

Pembelajaran adaptif berbasis AI dapat bekerja melalui beberapa mekanisme. Pertama, sistem melakukan diagnosis awal melalui pretest atau pertanyaan diagnostik. Kedua, sistem mengidentifikasi area yang belum dikuasai siswa. Ketiga, sistem memberikan materi atau latihan yang sesuai. Keempat, sistem memantau respons siswa. Kelima, sistem menyesuaikan materi berikutnya berdasarkan performa siswa. Dalam pembelajaran kimia, mekanisme ini dapat digunakan untuk remedial, pengayaan, persiapan praktikum, latihan soal, atau penguatan konsep.

Misalnya, dalam pembelajaran ikatan kimia, sistem dapat memberikan pertanyaan diagnostik tentang perbedaan ikatan ionik, kovalen, dan logam. Jika siswa menjawab bahwa semua ikatan terjadi karena “atom saling berbagi elektron”, sistem dapat mengenali kemungkinan miskonsepsi bahwa siswa belum membedakan transfer elektron dan pemakaian bersama elektron. Sistem kemudian dapat menyarankan materi remedial tentang pembentukan ion, konfigurasi elektron stabil, dan gaya elektrostatik pada ikatan ionik. Jika siswa sudah memahami konsep dasar, sistem dapat memberikan pengayaan tentang polaritas ikatan, momen dipol, dan hubungan struktur dengan sifat zat.

Pada topik larutan elektrolit, pembelajaran adaptif dapat membantu membedakan siswa yang belum memahami ionisasi, siswa yang belum memahami derajat disosiasi, dan siswa yang belum memahami hubungan ion dengan daya hantar listrik. Pada topik termokimia, sistem dapat membedakan siswa yang belum memahami sistem-lingkungan, siswa yang salah membaca tanda ΔH, dan siswa yang keliru menggunakan hukum Hess. Dengan demikian, pembelajaran adaptif membantu guru melihat kesulitan belajar secara lebih rinci.

Keberhasilan pembelajaran adaptif sangat bergantung pada kualitas model belajar yang digunakan. Jika sistem hanya menyesuaikan materi berdasarkan benar-salah jawaban, adaptasinya masih dangkal. Pembelajaran adaptif yang lebih baik perlu mempertimbangkan jenis kesalahan, waktu respons, strategi penyelesaian, urutan konsep, tingkat keyakinan siswa, dan konteks pembelajaran. Dalam kimia, sistem juga perlu memahami hubungan antarkonsep. Misalnya, kesulitan dalam elektrokimia mungkin berkaitan dengan kelemahan pada konsep redoks. Kesulitan dalam kesetimbangan asam-basa mungkin berkaitan dengan pemahaman yang belum kuat tentang kesetimbangan umum dan konsep molaritas.

Sistem rekomendasi, tutor cerdas, dan pembelajaran adaptif memiliki hubungan erat. Sistem rekomendasi membantu menyarankan apa yang sebaiknya dipelajari. Tutor cerdas membantu membimbing bagaimana siswa mempelajari konsep atau menyelesaikan masalah. Pembelajaran adaptif mengatur jalur belajar agar sesuai dengan kebutuhan siswa. Dalam satu platform, ketiganya dapat digabungkan. Misalnya, sistem mendeteksi bahwa siswa lemah dalam stoikiometri,

merekomendasikan materi penguatan konsep mol, memberikan tutor bertahap untuk latihan, lalu menyesuaikan soal berikutnya berdasarkan performa siswa.

Dalam konteks mata kuliah, mahasiswa calon guru kimia perlu memahami bahwa sistem semacam ini tidak hanya berguna bagi siswa, tetapi juga bagi guru. AI dapat menyediakan data diagnostik yang membantu guru mengambil keputusan. Jika sebagian besar siswa mengalami kesulitan pada konsep gaya antarmolekul, guru dapat merancang ulang pembelajaran dengan lebih banyak visualisasi dan contoh. Jika hanya sebagian kecil siswa yang belum memahami konsep, guru dapat memberi remedial individual. Jika sebagian siswa sudah sangat maju, guru dapat memberikan proyek pengayaan. Dengan demikian, AI mendukung pembelajaran diferensiasi.

Pembelajaran diferensiasi menjadi salah satu aspek penting dalam dokumen mata kuliah. AI disebut dapat membantu menyesuaikan materi dengan kemampuan peserta didik, gaya belajar, kebutuhan remedial, pengayaan, dan pembelajaran personal. Dalam pembelajaran kimia, diferensiasi bukan berarti menurunkan standar akademik, melainkan menyediakan jalur yang berbeda agar semua siswa dapat mencapai pemahaman yang bermakna. Siswa yang belum memahami konsep dasar perlu bantuan bertahap. Siswa yang sudah menguasai konsep perlu tantangan lebih tinggi. AI dapat membantu menyediakan variasi jalur tersebut.

Namun, konsep “gaya belajar” perlu dipahami secara hati-hati. Dalam praktik pendidikan, istilah ini sering digunakan secara populer, tetapi tidak boleh dijadikan dasar tunggal untuk mengelompokkan siswa secara kaku. Lebih tepat jika AI digunakan untuk menyesuaikan **kebutuhan belajar**, bukan memberi label tetap kepada siswa. Siswa tidak boleh dipersempit sebagai “visual”, “auditori”, atau “kinestetik” secara permanen. Dalam kimia, semua siswa tetap perlu belajar melalui berbagai representasi: gambar, simbol, teks, persamaan, data, eksperimen, dan diskusi. AI sebaiknya membantu menyediakan variasi representasi, bukan membatasi siswa pada satu jalur.

Sistem rekomendasi dan pembelajaran adaptif juga perlu mempertimbangkan tiga level representasi kimia: makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Jika siswa hanya diberi latihan simbolik berupa persamaan reaksi dan perhitungan, mereka mungkin mampu menjawab soal tetapi tidak memahami fenomena kimia secara utuh. Sebaliknya, jika siswa hanya melihat animasi partikel tanpa menghubungkannya dengan simbol dan data, pemahaman mereka juga tidak lengkap. Oleh karena itu, AI dalam pembelajaran kimia harus dirancang untuk membantu siswa berpindah antarlevel representasi secara sadar.

Sebagai contoh, dalam materi reaksi pengendapan, sistem adaptif dapat menyajikan fenomena makroskopik berupa terbentuknya endapan putih ketika dua larutan dicampurkan. Setelah itu, sistem menunjukkan representasi submikroskopik berupa ion-ion dalam larutan yang berinteraksi membentuk padatan tak larut. Selanjutnya, sistem meminta siswa menulis persamaan molekul, persamaan ion lengkap, dan persamaan ion bersih. Jika siswa salah pada salah satu level representasi, sistem memberikan umpan balik yang sesuai. Pendekatan seperti ini lebih kuat daripada sekadar memberi soal hitungan.

Dalam praktikum kimia, sistem tutor cerdas dan pembelajaran adaptif dapat digunakan sebelum, selama, atau setelah eksperimen. Sebelum praktikum, sistem dapat membantu siswa memahami

tujuan, prinsip kerja, alat-bahan, prosedur, keselamatan, dan prediksi hasil. Selama praktikum, sistem dapat membantu siswa mencatat data atau mengingatkan prosedur keselamatan, meskipun penggunaan perangkat digital di laboratorium harus memperhatikan keamanan. Setelah praktikum, sistem dapat membantu siswa menganalisis data, membuat grafik, menghitung hasil, mengidentifikasi sumber kesalahan, dan menyusun kesimpulan. File deskripsi mata kuliah juga menekankan AI untuk praktikum, virtual laboratory, prosedur eksperimen, analisis data, keselamatan kerja, dan LKPD praktikum berbasis inkuiri.

Meskipun demikian, penggunaan AI dalam praktikum tidak boleh menggantikan pengalaman empiris. Kimia adalah ilmu yang dibangun dari interaksi antara teori dan eksperimen. Siswa perlu belajar mengamati perubahan warna, mencium bau dengan prosedur aman bila diperbolehkan, mengukur massa, membaca volume, mengendalikan variabel, mencatat data, mengenali ketidakpastian, dan memahami keselamatan kerja. AI dapat memperkaya pengalaman tersebut, tetapi tidak boleh membuat siswa hanya mengalami kimia sebagai simulasi layar.

Dalam asesmen, sistem rekomendasi dan tutor cerdas dapat membantu memberikan umpan balik formatif. Ketika siswa mengerjakan soal, sistem dapat mengidentifikasi tahap kesalahan dan memberi petunjuk. Misalnya, pada soal perhitungan pH asam lemah, siswa mungkin salah menggunakan rumus asam kuat. Sistem dapat memberi peringatan bahwa asam lemah tidak terionisasi sempurna dan memerlukan pendekatan kesetimbangan. Pada soal elektrolisis, siswa mungkin salah menentukan reaksi di katode. Sistem dapat memberi petunjuk tentang reduksi dan urutan kecenderungan reaksi. Umpan balik semacam ini lebih bermanfaat daripada sekadar memberi tanda benar atau salah.

Namun, asesmen adaptif berbasis AI harus memperhatikan keadilan. Jika sistem memberi soal lebih mudah kepada siswa tertentu dan soal lebih sulit kepada siswa lain, guru perlu memastikan bahwa perbedaan tersebut bertujuan pedagogis, bukan diskriminatif. Jika sistem menggunakan data masa lalu untuk memprediksi kemampuan siswa, ada risiko siswa diberi jalur yang terlalu rendah karena performa sebelumnya. Hal ini dapat membatasi peluang belajar. Oleh karena itu, pembelajaran adaptif harus fleksibel, terbuka untuk revisi, dan tetap memberi kesempatan siswa naik ke tingkat yang lebih tinggi.

Dari sisi etika, sistem rekomendasi dan pembelajaran adaptif menimbulkan isu privasi data. Agar sistem dapat menyesuaikan materi, ia perlu mengumpulkan data belajar siswa. Data ini dapat mencakup nilai, waktu belajar, pola kesalahan, respons tugas, bahkan perilaku digital. Guru dan institusi harus memastikan bahwa data digunakan secara aman, transparan, dan proporsional. Siswa perlu mengetahui bagaimana data mereka digunakan. Data pribadi tidak boleh dibagikan sembarangan. Prinsip ini sesuai dengan penekanan dokumen mata kuliah tentang keamanan data, etika akademik, validasi konten, bias algoritmik, dan tanggung jawab pendidik dalam menggunakan AI.

Isu bias juga perlu diperhatikan. Sistem rekomendasi dapat memperkuat ketimpangan jika data yang digunakan tidak adil. Misalnya, siswa dari sekolah dengan fasilitas terbatas mungkin memiliki data performa lebih rendah bukan karena kemampuan intelektualnya lemah, tetapi karena akses belajar yang kurang memadai. Jika sistem hanya membaca data tanpa memahami konteks sosial, rekomendasi dapat menjadi tidak adil. Dalam pendidikan kimia, hal ini penting karena akses

laboratorium, perangkat digital, dan internet tidak selalu sama di semua sekolah. AI harus digunakan untuk memperluas kesempatan belajar, bukan memperbesar kesenjangan.

Dalam pengembangan perangkat pembelajaran, mahasiswa calon guru kimia dapat dilatih merancang model sederhana pembelajaran adaptif. Misalnya, mereka membuat alur belajar untuk materi ikatan kimia dengan tiga jalur: remedial, reguler, dan pengayaan. Jalur remedial berisi penguatan konfigurasi elektron dan pembentukan ion. Jalur reguler berisi pembelajaran ikatan ionik, kovalen, dan logam. Jalur pengayaan berisi polaritas molekul, gaya antarmolekul, dan hubungan struktur dengan sifat zat. Mahasiswa kemudian menggunakan AI untuk membantu menyusun materi, soal diagnostik, umpan balik, dan rubrik. Setelah itu, mereka wajib memvalidasi konsep dan kelayakan pedagogisnya.

Contoh lain dapat diterapkan pada materi stoikiometri. Mahasiswa merancang sistem rekomendasi sederhana berbasis hasil pretest. Jika siswa salah pada konversi massa-mol, sistem merekomendasikan penguatan massa molar. Jika siswa salah pada penyetaraan reaksi, sistem merekomendasikan latihan hukum kekekalan massa. Jika siswa salah pada pereaksi pembatas, sistem memberikan latihan bertahap tentang perbandingan mol. Jika siswa sudah menguasai semua, sistem memberikan proyek kontekstual, misalnya menghitung efisiensi reaksi dalam produksi pupuk atau analisis reaksi pembakaran bahan bakar.

Pendekatan semacam ini membantu mahasiswa memahami bahwa AI tidak harus selalu berarti sistem yang sangat kompleks. Dalam tahap awal, prinsip rekomendasi dan adaptasi dapat diterapkan melalui desain pembelajaran sederhana, tabel keputusan, spreadsheet, LMS, atau chatbot dengan prompt terarah. Yang paling penting adalah logika pedagogisnya: guru mengidentifikasi kebutuhan siswa, menyediakan bantuan yang sesuai, memberi umpan balik, lalu menyesuaikan pembelajaran berikutnya. AI mempercepat dan memperluas proses tersebut, tetapi desain tetap berasal dari pendidik.

Sistem rekomendasi, tutor cerdas, dan pembelajaran adaptif juga perlu dikaitkan dengan meaningful learning. Pembelajaran bermakna terjadi ketika siswa menghubungkan informasi baru dengan struktur pengetahuan yang sudah dimiliki. AI dapat membantu dengan mendiagnosis pengetahuan awal, memberikan jembatan konsep, menyarankan materi prasyarat, dan memberi contoh yang relevan. Dalam kimia, hal ini sangat penting karena konsep baru sering bergantung pada konsep sebelumnya. Misalnya, memahami kesetimbangan asam-basa memerlukan pemahaman tentang larutan, konsentrasi, ionisasi, dan kesetimbangan umum.

AI juga dapat mendukung mindful learning. Sistem adaptif dapat mengajak siswa merefleksikan kesalahan, bukan sekadar memperbaiki jawaban. Misalnya, setelah siswa salah menjawab soal termokimia, sistem tidak hanya memberi rumus yang benar, tetapi bertanya: “Mengapa tanda ΔH pada reaksi eksoterm bernilai negatif?” atau “Bagaimana hubungan antara sistem dan lingkungan dalam pelepasan kalor?” Pertanyaan reflektif semacam ini membantu siswa menyadari proses berpikirnya. AI yang baik tidak hanya memberi jawaban, tetapi mendorong kesadaran belajar.

AI juga dapat mendukung joyful learning jika digunakan untuk membuat pembelajaran lebih menarik, variatif, dan tidak menakutkan. Kimia sering dianggap sulit karena banyak simbol, rumus, dan konsep abstrak. Sistem adaptif dapat menyajikan tantangan bertahap sehingga siswa

tidak langsung merasa gagal. Tutor cerdas dapat memberi umpan balik yang mendorong. Sistem rekomendasi dapat menyediakan aktivitas kreatif, seperti simulasi, permainan konsep, infografik, atau proyek kontekstual. Namun, joyful learning bukan berarti pembelajaran dangkal atau sekadar hiburan. Pembelajaran menyenangkan tetap harus bermakna, terarah, dan ilmiah.

Dalam konteks institusional, penerapan sistem rekomendasi dan pembelajaran adaptif membutuhkan kesiapan. Guru perlu dilatih menggunakan data belajar. Sekolah atau perguruan tinggi perlu menyediakan platform yang aman. Kurikulum perlu memberi ruang untuk diferensiasi. Mahasiswa calon guru perlu memahami cara merancang aktivitas berbasis AI tanpa mengabaikan tujuan pembelajaran. Pengembang teknologi perlu bekerja sama dengan ahli pendidikan kimia agar sistem yang dibuat tidak hanya canggih secara teknis, tetapi juga valid secara konseptual dan pedagogis.

Akhirnya, sistem rekomendasi, tutor cerdas, dan pembelajaran adaptif menunjukkan bahwa AI dapat membantu pendidikan kimia bergerak dari pembelajaran seragam menuju pembelajaran yang lebih responsif. Dalam pembelajaran seragam, semua siswa menerima materi yang sama, latihan yang sama, waktu yang sama, dan umpan balik yang sama. Dalam pembelajaran adaptif, siswa memperoleh bantuan yang lebih sesuai dengan kondisi belajarnya. Namun, adaptivitas tidak boleh menghilangkan pengalaman bersama, diskusi kelas, kolaborasi, dan pembelajaran sosial. Pendidikan kimia tetap membutuhkan interaksi manusia, eksperimen nyata, argumentasi ilmiah, dan pembentukan sikap.

Dengan demikian, sistem rekomendasi, tutor cerdas, dan pembelajaran adaptif dapat menjadi bagian penting dalam pembelajaran kimia berbasis AI. Ketiganya membantu guru memahami kebutuhan siswa, memberi latihan bertahap, menyediakan umpan balik, merekomendasikan materi, dan mendukung pembelajaran personal. Akan tetapi, ketiganya harus digunakan secara kritis dengan memperhatikan validitas konsep, kualitas data, keadilan, privasi, etika, dan peran guru sebagai pengambil keputusan pedagogis utama.

Subbab berikutnya akan membahas **posisi AI dalam transformasi pendidikan kimia**. Pembahasan tersebut penting karena setelah memahami jenis-jenis AI, machine learning, deep learning, generative AI, LLM, chatbot, sistem rekomendasi, tutor cerdas, dan pembelajaran adaptif, kita perlu menempatkan seluruh teknologi tersebut dalam kerangka perubahan besar pendidikan kimia: dari pembelajaran berbasis penyampaian materi menuju pembelajaran yang lebih visual, personal, reflektif, berbasis data, dan bertanggung jawab secara etis.

1.7 Posisi AI dalam Transformasi Pendidikan Kimia

Kecerdasan buatan menempati posisi strategis dalam transformasi pendidikan kimia karena ia tidak hanya menghadirkan alat baru, tetapi juga mengubah cara pendidik merancang, melaksanakan, mengevaluasi, dan merefleksikan pembelajaran. Transformasi ini tidak boleh dipahami secara sempit sebagai perpindahan dari papan tulis ke aplikasi digital, atau dari buku cetak ke chatbot. Transformasi pendidikan kimia berbasis AI jauh lebih mendasar: ia menyentuh cara guru memahami kebutuhan belajar peserta didik, cara peserta didik berinteraksi dengan konsep abstrak, cara asesmen dilakukan, cara bahan ajar dikembangkan, cara praktikum disimulasikan, serta cara etika akademik ditegakkan.

Dalam file deskripsi mata kuliah, AI ditempatkan sebagai bagian dari perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, dan pengembangan pembelajaran kimia. Dokumen tersebut menegaskan bahwa mata kuliah ini membekali mahasiswa agar mampu mengintegrasikan AI secara kritis, kreatif, etis, dan pedagogis dalam pembelajaran kimia di sekolah maupun perguruan tinggi. Rumusan ini menunjukkan bahwa posisi AI tidak berada di pinggir pembelajaran, melainkan masuk ke dalam inti desain pendidikan kimia. AI tidak hanya menjadi media tambahan, tetapi menjadi perangkat konseptual dan praktis yang memengaruhi hampir seluruh komponen pembelajaran.

Transformasi pertama yang dibawa AI adalah perubahan dari pembelajaran yang berpusat pada penyampaian materi menuju pembelajaran yang lebih **berpusat pada kebutuhan belajar peserta didik**. Dalam model tradisional, guru sering menyampaikan materi secara seragam kepada seluruh kelas. Pola ini tidak selalu buruk, tetapi memiliki keterbatasan ketika peserta didik memiliki latar belakang, kecepatan belajar, penguasaan prasyarat, dan miskonsepsi yang berbeda. AI dapat membantu guru membaca pola kesulitan, memberikan rekomendasi remedial, menyusun latihan bertahap, dan menyediakan bahan pengayaan. Dengan demikian, AI memungkinkan pembelajaran kimia bergerak ke arah yang lebih personal dan adaptif.

Namun, pembelajaran personal berbasis AI tidak boleh dipahami sebagai pembelajaran individualistis yang memisahkan peserta didik dari interaksi sosial. Kimia tetap perlu dipelajari melalui diskusi, eksperimen, argumentasi, kolaborasi, dan komunikasi ilmiah. AI dapat membantu menyediakan jalur belajar individual, tetapi pemahaman kimia yang matang tetap memerlukan percakapan kelas, kerja laboratorium, pembuktian empiris, serta pembentukan sikap ilmiah. Oleh karena itu, posisi AI dalam transformasi pendidikan kimia bukan menggantikan ruang sosial pembelajaran, melainkan memperkuat kesiapan peserta didik untuk masuk ke dalam ruang sosial tersebut secara lebih bermakna.

Transformasi kedua adalah perubahan dari pembelajaran berbasis hafalan menuju pembelajaran berbasis **pemahaman representasional**. Kimia memiliki karakteristik khusus karena melibatkan tiga level representasi: makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. File deskripsi mata kuliah menegaskan bahwa banyak konsep kimia seperti struktur atom, ikatan kimia, bentuk molekul, kesetimbangan, termodinamika, kinetika reaksi, elektrokimia, kimia organik, dan kimia komputasi memerlukan visualisasi, pemodelan, simulasi, dan penalaran abstrak. AI dapat membantu memperkuat hubungan antarlevel representasi tersebut melalui penjelasan bertahap, visualisasi molekul, animasi konseptual, simulasi virtual, dan dialog berbasis pertanyaan.

Sebagai contoh, pada konsep elektrolisis, peserta didik tidak cukup hanya menghafal bahwa oksidasi terjadi di anode dan reduksi terjadi di katode. Mereka perlu memahami apa yang terjadi pada level partikel, bagaimana ion bergerak, bagaimana elektron mengalir, mengapa reaksi tertentu lebih mungkin terjadi, dan bagaimana proses tersebut dituliskan dalam persamaan setengah reaksi. AI dapat membantu menyajikan penjelasan dalam berbagai format, tetapi guru tetap perlu memastikan bahwa representasi yang disajikan akurat. Dalam kimia, visualisasi yang menarik tetapi salah dapat menimbulkan miskonsepsi yang lebih kuat daripada penjelasan verbal yang sederhana tetapi benar.

Transformasi ketiga adalah perubahan dari guru sebagai satu-satunya sumber informasi menuju guru sebagai **desainer, kurator, validator, dan fasilitator pembelajaran**. Ketika peserta didik

dapat bertanya kepada chatbot, mencari penjelasan alternatif, meminta contoh soal, atau menggunakan AI untuk membuat ringkasan, posisi guru tidak lagi hanya sebagai penyampai materi. Peran guru justru menjadi lebih kompleks. Guru harus merancang aktivitas belajar yang bermakna, memilih sumber yang valid, memeriksa keluaran AI, mengarahkan penggunaan teknologi, membangun etika akademik, dan memastikan bahwa peserta didik tetap berpikir secara ilmiah.

Perubahan peran guru ini sangat penting dalam pendidikan kimia. Jika AI menghasilkan penjelasan tentang termodinamika, guru perlu memeriksa apakah hubungan antara entalpi, entropi, dan energi bebas Gibbs disajikan secara benar. Jika AI membuat soal stoikiometri, guru perlu memeriksa kesetaraan reaksi, satuan, angka penting, dan kunci jawaban. Jika AI merancang praktikum, guru perlu memeriksa keselamatan, alat-bahan, limbah, dan kelayakan prosedur. Dengan demikian, AI tidak menurunkan kebutuhan kompetensi guru. Sebaliknya, AI menuntut guru yang lebih kuat dalam substansi kimia, pedagogi, teknologi, dan etika.

Transformasi keempat adalah perubahan dari asesmen yang hanya berfokus pada hasil akhir menuju asesmen yang lebih **formatif, diagnostik, dan berbasis umpan balik**. Dalam pembelajaran kimia, banyak kesalahan siswa terjadi pada proses berpikir, bukan hanya pada jawaban akhir. Misalnya, siswa dapat memperoleh hasil numerik yang benar karena meniru pola, tetapi tidak memahami konsep mol. Sebaliknya, siswa dapat melakukan kesalahan hitung kecil tetapi memiliki pemahaman konsep yang cukup baik. AI dapat membantu guru menganalisis jawaban, memberi umpan balik, mengidentifikasi miskonsepsi, dan menyusun asesmen diagnostik.

File deskripsi mata kuliah menyebut AI untuk asesmen dan evaluasi pembelajaran kimia, termasuk soal pilihan ganda, uraian, HOTS, diagnostik miskonsepsi, rubrik penilaian, asesmen proyek, asesmen praktikum, dan umpan balik otomatis. Ini menunjukkan bahwa posisi AI dalam asesmen tidak boleh terbatas pada pembuatan soal cepat. AI harus diarahkan untuk memperkuat fungsi asesmen sebagai sarana memahami proses belajar. Dalam kerangka ini, asesmen berbasis AI harus membantu guru mengetahui apa yang sudah dipahami siswa, apa yang belum dipahami, mengapa kesalahan terjadi, dan intervensi apa yang perlu dilakukan.

Namun, asesmen berbasis AI juga membawa risiko. AI dapat salah menilai jawaban terbuka, gagal memahami konteks lokal, atau memberikan umpan balik yang terlalu umum. Selain itu, penggunaan AI dalam tugas akademik dapat mengaburkan batas antara bantuan belajar dan kecurangan. Kajian tentang kebijakan generative AI di perguruan tinggi menunjukkan bahwa banyak institusi mengambil pendekatan terbuka tetapi hati-hati, dengan perhatian pada penggunaan etis, akurasi, privasi data, dan integritas akademik. Dalam pendidikan kimia, prinsip ini perlu diterjemahkan ke dalam kebijakan kelas yang jelas: kapan AI boleh digunakan, bagaimana penggunaan AI dilaporkan, dan bagaimana kualitas karya peserta didik dinilai.

Transformasi kelima adalah perubahan dari bahan ajar statis menuju bahan ajar yang lebih **adaptif, kontekstual, dan mudah diperbarui**. Buku teks tetap penting sebagai sumber stabil dan tervalidasi, tetapi AI memungkinkan guru menyusun variasi materi sesuai kebutuhan kelas. Guru dapat meminta AI membuat penjelasan konsep dengan bahasa yang lebih sederhana, menyusun contoh kontekstual sesuai kehidupan sehari-hari, membuat analogi, menyusun LKPD, membuat

peta konsep, mengembangkan infografik, atau membuat soal dengan berbagai tingkat kesulitan. File deskripsi mata kuliah secara eksplisit menyebut penggunaan AI untuk membuat buku ajar, modul, handout, LKPD, infografik, slide, peta konsep, glosarium, rangkuman, dan bahan pengayaan kimia.

Akan tetapi, bahan ajar yang dihasilkan AI perlu melewati proses editorial akademik. Guru atau dosen harus memeriksa kesesuaian dengan capaian pembelajaran, keakuratan konsep, kedalaman materi, urutan penyajian, contoh yang digunakan, dan kemungkinan munculnya miskonsepsi. AI dapat menghasilkan bahan ajar dengan cepat, tetapi kecepatan bukan ukuran utama kualitas pendidikan. Kualitas bahan ajar kimia ditentukan oleh validitas ilmiah, koherensi pedagogis, kesesuaian representasi, kejelasan bahasa, keamanan aktivitas, serta relevansi dengan kebutuhan peserta didik.

Transformasi keenam adalah perubahan dari praktikum yang sepenuhnya bergantung pada fasilitas fisik menuju praktikum yang didukung oleh **simulasi, virtual laboratory, dan analisis data berbantuan AI**. Pendidikan kimia tidak boleh kehilangan basis eksperimen, tetapi AI dapat membantu mengatasi sebagian keterbatasan laboratorium. Sekolah yang memiliki keterbatasan alat dan bahan dapat menggunakan virtual laboratory untuk mengenalkan prinsip eksperimen sebelum praktik nyata. Mahasiswa dapat menggunakan AI untuk merancang prosedur awal, memprediksi hasil, menganalisis data, membuat grafik, dan merefleksikan sumber kesalahan.

Namun, AI dan virtual laboratory tidak boleh diposisikan sebagai pengganti mutlak laboratorium nyata. Praktikum kimia bukan hanya memahami konsep, tetapi juga membangun keterampilan proses sains: mengamati, mengukur, mengendalikan variabel, mencatat data, menggunakan alat, memperhatikan keselamatan, dan menafsirkan ketidakpastian. AI dapat memperkuat persiapan dan analisis, tetapi pengalaman empiris tetap penting. Posisi AI yang tepat adalah sebagai penguat siklus praktikum: sebelum praktikum untuk orientasi dan simulasi, selama praktikum untuk panduan terbatas dan pengumpulan data, serta setelah praktikum untuk analisis dan refleksi.

Transformasi ketujuh adalah perubahan dari pembelajaran yang terpisah dari dunia nyata menuju pembelajaran kimia yang lebih **kontekstual dan berbasis masalah**. AI dapat membantu guru membuat skenario masalah terkait lingkungan, energi, pangan, kesehatan, material, industri, dan kehidupan sehari-hari. Misalnya, AI dapat membantu menyusun kasus pencemaran air oleh logam berat, analisis kandungan asam pada minuman, korosi pada jembatan, elektrokimia dalam baterai, atau polimer dalam kemasan makanan. Skenario tersebut dapat digunakan untuk problem-based learning atau project-based learning.

Namun, konteks yang dibuat AI harus diperiksa. Data lingkungan, standar keamanan, bahan kimia, dan fakta ilmiah tidak boleh diambil mentah tanpa verifikasi. Jika AI membuat klaim tentang konsentrasi maksimum logam berat dalam air minum, guru harus memeriksa sumber resmi. Jika AI menyarankan eksperimen pangan, guru perlu memastikan keamanannya. Jika AI membuat studi kasus industri, guru perlu memeriksa apakah proses kimia yang dijelaskan benar. Dengan demikian, AI memperluas kemungkinan pembelajaran kontekstual, tetapi validasi tetap menjadi kewajiban akademik.

Transformasi kedelapan adalah perubahan dari literasi digital umum menuju **literasi AI yang terintegrasi dengan literasi kimia**. Literasi AI tidak hanya berarti mampu menggunakan aplikasi AI, tetapi juga memahami cara kerja, keterbatasan, bias, risiko, etika, dan strategi validasi keluaran. Dalam pendidikan kimia, literasi AI harus berjalan bersama literasi kimia. Peserta didik perlu memahami konsep kimia agar dapat menilai apakah jawaban AI benar. Sebaliknya, mereka perlu memahami AI agar tidak menganggap semua jawaban digital sebagai kebenaran.

Kajian tentang AI dalam pendidikan kimia menekankan bahwa AI dapat mendukung pembelajaran sekaligus menjadi objek pembelajaran itu sendiri; artinya, pendidik kimia perlu memahami kompetensi AI dan mengintegrasikannya dalam pendidikan guru. Hal ini sangat relevan untuk mahasiswa calon guru kimia. Mereka tidak hanya harus mampu menggunakan AI untuk membuat perangkat pembelajaran, tetapi juga harus mampu mengajarkan kepada siswa bagaimana menggunakan AI secara kritis. Di masa depan, guru kimia tidak cukup menjadi pengguna AI; guru perlu menjadi pembimbing literasi AI dalam konteks sains.

Transformasi kesembilan adalah perubahan dari proses belajar yang terfragmentasi menuju pembelajaran yang lebih **terintegrasi antara konsep, keterampilan, sikap, dan etika**. AI dapat membantu konsep, tetapi konsep saja tidak cukup. AI dapat membantu keterampilan, tetapi keterampilan harus diarahkan oleh nilai. AI dapat membantu asesmen, tetapi asesmen harus adil. AI dapat membantu praktikum, tetapi praktikum harus aman. AI dapat membantu produksi karya, tetapi karya harus jujur. Karena itu, transformasi pendidikan kimia berbasis AI harus selalu menggabungkan dimensi kognitif, praktis, sosial, dan etis.

UNESCO menekankan bahwa generative AI dalam pendidikan harus diarahkan oleh visi human-centered, pengembangan kapasitas manusia, perlindungan data, dan kebijakan yang bertanggung jawab. Prinsip ini penting karena pendidikan kimia tidak hanya bertujuan menghasilkan siswa yang pandai menjawab soal, tetapi juga manusia yang mampu berpikir ilmiah, bertindak bertanggung jawab, memahami dampak kimia terhadap masyarakat, dan menggunakan teknologi secara etis. AI harus memperkuat kemanusiaan dalam pendidikan, bukan menggantikannya.

Transformasi kesepuluh adalah perubahan dari produk pembelajaran tunggal menuju **portofolio perangkat pembelajaran berbasis AI**. Dalam file deskripsi mata kuliah, produk akhir mata kuliah diarahkan pada portofolio pembelajaran kimia berbasis AI yang memuat rancangan pembelajaran, bahan ajar, LKPD, media visual atau simulasi, paket soal dan rubrik, analisis potensi miskonsepsi, refleksi etika penggunaan AI, serta evaluasi kelayakan implementasi di kelas. Ini menunjukkan bahwa AI dalam pendidikan kimia harus berujung pada karya pedagogis yang utuh, bukan hanya percobaan menggunakan aplikasi.

Portofolio semacam itu memiliki nilai penting bagi calon guru kimia. Pertama, mahasiswa belajar menghubungkan teori AI dengan praktik kelas. Kedua, mahasiswa belajar bahwa perangkat pembelajaran harus koheren antara tujuan, materi, aktivitas, media, asesmen, dan refleksi. Ketiga, mahasiswa belajar memvalidasi keluaran AI. Keempat, mahasiswa belajar menyusun kebijakan etis penggunaan AI. Kelima, mahasiswa belajar mengevaluasi kelayakan implementasi di kelas nyata. Dengan demikian, AI menjadi sarana pembentukan kompetensi profesional calon guru.

Dalam perspektif yang lebih luas, posisi AI dalam transformasi pendidikan kimia dapat dipahami melalui kerangka **TPACK**: technological knowledge, pedagogical knowledge, dan content knowledge. Guru kimia tidak cukup hanya memiliki pengetahuan kimia. Guru juga perlu memahami pedagogi kimia dan teknologi yang relevan. AI berada pada irisan ketiganya. Jika AI digunakan tanpa pengetahuan kimia, keluaran dapat salah. Jika AI digunakan tanpa pedagogi, pembelajaran menjadi dangkal. Jika AI digunakan tanpa literasi teknologi, pengguna mudah tertipu oleh tampilan sistem. Transformasi pendidikan kimia yang sehat memerlukan integrasi ketiganya.

AI juga mengubah relasi antara kecepatan dan kedalaman. Salah satu daya tarik AI adalah kemampuannya menghasilkan jawaban cepat. Namun, pendidikan kimia tidak boleh tunduk pada logika kecepatan semata. Pemahaman konsep membutuhkan waktu, latihan, kesalahan, revisi, diskusi, dan refleksi. AI dapat mempercepat beberapa pekerjaan teknis, seperti membuat draf soal atau bahan ajar, tetapi proses berpikir ilmiah tetap harus dibangun. Guru perlu mengarahkan siswa agar menggunakan AI untuk memperdalam pemahaman, bukan sekadar mempercepat penyelesaian tugas.

Posisi AI dalam transformasi pendidikan kimia juga berkaitan dengan keadilan akses. Di satu sisi, AI dapat memperluas akses belajar karena siswa dapat memperoleh penjelasan tambahan di luar kelas. Guru dapat membuat bahan ajar lebih cepat. Sekolah dengan fasilitas terbatas dapat menggunakan simulasi. Di sisi lain, AI dapat memperbesar kesenjangan jika hanya sekolah tertentu yang memiliki akses internet, perangkat, dan literasi digital memadai. Oleh karena itu, transformasi berbasis AI harus memperhatikan konteks sosial, infrastruktur, dan kebijakan institusional.

Dalam konteks Indonesia, isu ini penting karena kondisi sekolah dan perguruan tinggi sangat beragam. Ada institusi dengan laboratorium lengkap, jaringan internet baik, dan akses aplikasi berbayar. Ada pula sekolah dengan keterbatasan alat, bahan, perangkat, dan jaringan. AI seharusnya digunakan untuk membantu mengurangi kesenjangan, misalnya dengan menyediakan alternatif bahan ajar, simulasi sederhana, LKPD kontekstual, dan rancangan praktikum berbasis alat-bahan lokal. Namun, penggunaan AI juga harus realistis terhadap kondisi lapangan.

Posisi AI dalam transformasi pendidikan kimia juga menuntut perubahan kurikulum. Jika AI menjadi bagian dari kehidupan akademik, maka kurikulum pendidikan kimia perlu memasukkan literasi AI, prompt engineering, validasi konten, etika penggunaan AI, analisis data, dan desain pembelajaran berbasis AI. File deskripsi mata kuliah yang digunakan sebagai dasar buku ini telah mengarah ke sana dengan memasukkan konsep dasar AI, prompt engineering, bahan ajar, visualisasi, praktikum, asesmen, diferensiasi, etika, dan proyek akhir. Dengan demikian, mata kuliah ini dapat dipandang sebagai respons kurikuler terhadap perubahan ekosistem pendidikan.

Transformasi ini juga menuntut perubahan cara mahasiswa calon guru dinilai. Jika mahasiswa hanya diminta membuat makalah tentang AI, kompetensi yang terbentuk masih terbatas. Lebih baik jika mahasiswa diminta menghasilkan perangkat pembelajaran nyata berbasis AI, lalu mempresentasikan, memvalidasi, merevisi, dan merefleksikan penggunaannya. Penilaian harus mencakup akurasi kimia, kualitas desain pembelajaran, kreativitas media, kelayakan praktikum,

kualitas asesmen, kemampuan evaluasi keluaran AI, dan kedalaman refleksi etis. Dengan demikian, pembelajaran AI tidak berhenti pada wacana, tetapi menjadi kompetensi profesional.

Dalam literatur pendidikan, generative AI dipandang memiliki peluang untuk personalisasi konten, asesmen performa kompleks, dan pengembangan pengalaman belajar baru, tetapi juga menuntut verifikasi keluaran, transparansi desain, dan perhatian terhadap bias data. Prinsip ini sangat sesuai untuk pendidikan kimia. AI dapat membantu memperkaya pembelajaran, tetapi tidak boleh digunakan tanpa kerangka validasi. Semakin kuat AI menghasilkan konten, semakin besar tanggung jawab guru untuk memeriksa dan mengarahkannya.

Pada akhirnya, posisi AI dalam transformasi pendidikan kimia adalah sebagai **penguat kapasitas pedagogis manusia**. AI dapat membantu guru bekerja lebih efisien, siswa belajar lebih personal, mahasiswa calon guru berlatih desain pembelajaran, dan dosen mengembangkan asesmen yang lebih variatif. Namun, AI tidak boleh menggantikan tujuan utama pendidikan kimia: membentuk pemahaman ilmiah, keterampilan proses sains, nalar kritis, sikap etis, dan kepedulian terhadap dampak kimia dalam kehidupan. AI yang baik adalah AI yang membantu manusia menjadi lebih mampu berpikir, bukan AI yang membuat manusia berhenti berpikir.

Dengan demikian, transformasi pendidikan kimia berbasis AI harus dipahami sebagai proses integrasi teknologi ke dalam pedagogi kimia secara kritis dan bertanggung jawab. AI dapat memperkuat visualisasi, personalisasi, asesmen, bahan ajar, praktikum, dan refleksi. Namun, keberhasilan transformasi tersebut tidak ditentukan oleh kecanggihan aplikasi semata, melainkan oleh kualitas desain pembelajaran, kompetensi guru, validitas konsep kimia, etika penggunaan, dan kesadaran bahwa pendidikan tetap merupakan proses manusiawi.

Subbab berikutnya akan membahas **peluang dan keterbatasan AI bagi guru dan calon guru kimia**. Pembahasan tersebut penting karena transformasi pendidikan kimia hanya dapat berjalan baik jika pendidik memahami secara seimbang apa yang dapat dibantu oleh AI, apa yang tetap harus dilakukan manusia, dan risiko apa yang harus dikendalikan dalam praktik pembelajaran.

1.8 Peluang dan Keterbatasan AI bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Kecerdasan buatan membuka peluang besar bagi guru dan calon guru kimia, tetapi peluang tersebut selalu disertai keterbatasan. Pemahaman yang seimbang terhadap dua sisi ini sangat penting agar AI tidak dipuja secara berlebihan, tetapi juga tidak ditolak secara apriori. Dalam pendidikan kimia, AI sebaiknya dipahami sebagai alat bantu pedagogis yang dapat memperkuat peran guru, memperkaya pengalaman belajar peserta didik, dan memperluas kemungkinan desain pembelajaran. Akan tetapi, AI tidak boleh ditempatkan sebagai pengganti penguasaan konsep kimia, kompetensi pedagogik, kepekaan etis, pengalaman laboratorium, dan relasi manusiawi antara guru dan peserta didik.

File deskripsi mata kuliah menegaskan bahwa mahasiswa calon guru kimia, guru kimia, dan pemerhati pendidikan kimia perlu mampu memahami perkembangan AI serta mengintegrasikannya secara kritis, kreatif, etis, dan pedagogis dalam pembelajaran kimia. Dokumen tersebut juga menempatkan kemampuan mengevaluasi akurasi, validitas, bias, dan kelayakan konten kimia yang dihasilkan AI sebagai salah satu capaian pembelajaran mata kuliah.

Dengan demikian, peluang AI harus selalu dibaca bersama keterbatasannya. AI berguna sejauh ia membantu tujuan pendidikan kimia, bukan menggantikan nalar ilmiah dan tanggung jawab pendidik.

Peluang pertama AI bagi guru dan calon guru kimia adalah **efisiensi dalam perencanaan pembelajaran**. Guru sering menghadapi beban administratif dan akademik yang besar: menyusun perangkat pembelajaran, merancang aktivitas kelas, membuat bahan ajar, menyiapkan LKPD, menyusun soal, membuat rubrik, merancang remedial, serta mengembangkan media. AI dapat membantu mempercepat tahap awal pekerjaan tersebut. Guru dapat menggunakan AI untuk membuat draf modul ajar, rancangan aktivitas, skenario diskusi, daftar pertanyaan pemantik, contoh soal, rubrik penilaian, atau format refleksi peserta didik.

Namun, efisiensi tidak sama dengan kualitas. Draf yang dihasilkan AI perlu diperiksa, diedit, dan disesuaikan. Dalam pendidikan kimia, kesalahan kecil pada konsep, rumus, satuan, persamaan reaksi, prosedur praktikum, atau istilah dapat menghasilkan dampak pembelajaran yang serius. Guru tidak boleh mengambil keluaran AI secara mentah. Guru harus memeriksa kesesuaian materi dengan kurikulum, capaian pembelajaran, karakteristik peserta didik, konteks sekolah, dan kaidah ilmiah kimia. Dalam hal ini, AI mempercepat pekerjaan awal, tetapi kualitas akhir tetap bergantung pada kompetensi guru.

Peluang kedua adalah **pengembangan bahan ajar yang lebih variatif dan adaptif**. AI dapat membantu guru membuat beberapa versi penjelasan konsep dengan tingkat kesulitan berbeda. Misalnya, konsep ikatan kimia dapat dijelaskan untuk siswa SMP, SMA, mahasiswa awal, atau calon guru dengan kedalaman yang berbeda. AI juga dapat membantu menyusun analogi, contoh kontekstual, peta konsep, glosarium, ringkasan, infografik, dan bahan pengayaan. File deskripsi mata kuliah menyebut bahwa AI dapat digunakan untuk membuat buku ajar, modul, handout, LKPD, infografik, slide, peta konsep, glosarium, rangkuman, dan bahan pengayaan kimia.

Dalam praktiknya, variasi bahan ajar sangat membantu karena peserta didik tidak selalu memahami konsep melalui satu bentuk representasi. Sebagian siswa membutuhkan gambar, sebagian membutuhkan analogi, sebagian membutuhkan contoh numerik, dan sebagian membutuhkan eksperimen. AI dapat membantu menyediakan variasi tersebut. Namun, guru harus memastikan bahwa variasi tidak mengorbankan ketepatan konsep. Analogi kimia yang terlalu sederhana dapat menimbulkan miskonsepsi. Infografik yang menarik tetapi tidak akurat dapat menyesatkan. Ringkasan yang terlalu padat dapat menghilangkan hubungan konseptual penting. Oleh karena itu, kreativitas digital berbantuan AI harus selalu dikawal oleh validasi akademik.

Peluang ketiga adalah **dukungan terhadap visualisasi konsep abstrak**. Kimia merupakan ilmu yang sangat bergantung pada representasi. Banyak konsep tidak dapat diamati secara langsung, seperti struktur atom, orbital, gaya antarmolekul, mekanisme reaksi, ion dalam larutan, dan dinamika kesetimbangan. AI dapat membantu guru membuat penjelasan visual, animasi konseptual, model molekul, atau deskripsi bertahap yang menghubungkan level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. File mata kuliah menegaskan bahwa AI dapat dimanfaatkan untuk memperjelas konsep, membuat simulasi interaktif, visualisasi konsep kimia, virtual laboratory, dan animasi molekul.

Namun, visualisasi berbasis AI memiliki keterbatasan yang harus diperhatikan. Tidak semua gambar atau animasi yang dihasilkan AI benar secara ilmiah. AI generatif visual dapat menghasilkan struktur molekul yang indah tetapi salah, bentuk orbital yang tidak proporsional, alat laboratorium yang tidak realistis, atau proses reaksi yang tidak sesuai mekanisme kimia. Guru harus menguji apakah visualisasi sesuai dengan teori dan dapat membantu pemahaman. Dalam pendidikan kimia, visualisasi bukan dekorasi, melainkan representasi ilmiah. Karena itu, keindahan visual harus tunduk pada akurasi konsep.

Peluang keempat adalah **penguatan pembelajaran diferensiasi dan adaptif**. Dalam kelas kimia, peserta didik memiliki kemampuan awal dan kesulitan yang berbeda. AI dapat membantu guru menyediakan materi remedial untuk siswa yang belum memahami konsep dasar, sekaligus memberikan pengayaan bagi siswa yang sudah siap menerima tantangan lebih tinggi. Misalnya, pada materi stoikiometri, siswa yang belum menguasai konsep mol dapat diberikan latihan dasar, sedangkan siswa yang sudah mampu dapat diberi masalah kontekstual tentang efisiensi reaksi atau analisis komposisi zat.

AI juga dapat membantu guru mengidentifikasi pola kesalahan. Jika banyak siswa salah memahami perbedaan asam kuat dan asam pekat, guru dapat merancang pembelajaran ulang. Jika siswa salah memahami fungsi katalis dalam kesetimbangan, guru dapat menyiapkan simulasi atau pertanyaan diagnostik. Dengan demikian, AI membantu guru bergerak dari pembelajaran seragam menuju pembelajaran yang lebih responsif. Namun, guru harus berhati-hati agar pembelajaran adaptif tidak berubah menjadi pelabelan siswa secara kaku. AI boleh membantu memetakan kebutuhan belajar, tetapi tidak boleh menentukan secara mutlak kemampuan atau masa depan peserta didik.

Peluang kelima adalah **peningkatan kualitas asesmen dan umpan balik**. AI dapat membantu guru menyusun soal pilihan ganda, soal uraian, soal HOTS, instrumen diagnostik miskonsepsi, rubrik penilaian, asesmen proyek, dan asesmen praktikum. AI juga dapat membantu menghasilkan umpan balik awal terhadap jawaban siswa. File deskripsi mata kuliah secara eksplisit menyebut AI untuk asesmen dan evaluasi pembelajaran kimia, termasuk soal pilihan ganda, uraian, HOTS, diagnostik miskonsepsi, rubrik penilaian, asesmen proyek, asesmen praktikum, dan umpan balik otomatis.

Dalam konteks ini, AI berpeluang memperkuat asesmen formatif. Guru dapat lebih cepat mengetahui bagian mana yang sulit dipahami siswa. Peserta didik dapat memperoleh umpan balik tanpa harus menunggu lama. Namun, asesmen berbasis AI tidak boleh digunakan tanpa pemeriksaan. AI dapat membuat soal yang tampak kompleks tetapi sebenarnya tidak mengukur kemampuan berpikir tingkat tinggi. AI dapat memberikan kunci jawaban yang salah. AI dapat menilai jawaban esai secara tidak adil jika bahasa siswa tidak sesuai pola yang dikenali model. Karena itu, guru tetap harus menjadi penentu validitas asesmen.

Peluang keenam adalah **dukungan terhadap praktikum dan laboratorium virtual**. AI dapat membantu guru merancang prosedur praktikum, menyusun LKPD praktikum, membuat pertanyaan inkuiri, membantu analisis data, dan merancang alternatif alat-bahan sederhana. Bagi sekolah yang memiliki keterbatasan laboratorium, AI dan virtual laboratory dapat membantu memperkenalkan konsep eksperimen sebelum praktik nyata dilakukan. Dalam file mata kuliah, AI

untuk praktikum dan virtual laboratory mencakup simulasi laboratorium, prosedur eksperimen, analisis data praktikum, keselamatan kerja, alternatif alat-bahan sederhana, dan LKPD praktikum berbasis inkuiri.

Namun, AI tidak dapat menggantikan seluruh pengalaman laboratorium. Pembelajaran kimia tetap membutuhkan pengalaman empiris: mengamati perubahan, mengukur, mencatat data, mengendalikan variabel, menangani alat, memahami kesalahan eksperimen, dan mempraktikkan keselamatan kerja. Selain itu, prosedur eksperimen yang dihasilkan AI harus divalidasi secara ketat. AI dapat menyarankan bahan yang tidak aman, takaran yang tidak tepat, atau prosedur yang tidak sesuai standar keselamatan. Guru kimia harus memiliki tanggung jawab penuh untuk memeriksa aspek K3, limbah, alat pelindung diri, dan kelayakan praktikum.

Peluang ketujuh adalah **pengembangan kompetensi profesional calon guru kimia**. Mahasiswa calon guru tidak hanya perlu mengetahui konsep AI, tetapi juga perlu berlatih menggunakannya untuk merancang pembelajaran. Produk akhir mata kuliah yang disebutkan dalam file deskripsi adalah portofolio pembelajaran kimia berbasis AI yang memuat rancangan pembelajaran atau RPS/RPP/modul ajar, bahan ajar, LKPD, media visual atau simulasi, paket soal dan rubrik, analisis potensi miskonsepsi, refleksi etika, serta evaluasi kelayakan implementasi di kelas. Portofolio semacam ini sangat penting karena mengubah AI dari sekadar topik diskusi menjadi kompetensi profesional yang dapat dipraktikkan.

Bagi calon guru, AI dapat menjadi ruang latihan pedagogis. Mahasiswa dapat membandingkan beberapa rancangan pembelajaran, menguji berbagai prompt, memeriksa kualitas soal, mengevaluasi keluaran AI, dan merevisi produk. Mereka juga dapat belajar bahwa perangkat pembelajaran yang baik bukan sekadar lengkap secara format, tetapi harus koheren antara tujuan, materi, aktivitas, media, asesmen, dan refleksi. AI membantu mempercepat proses produksi, tetapi mahasiswa tetap harus belajar berpikir sebagai desainer pembelajaran.

Peluang kedelapan adalah **penguatan kreativitas digital**. AI memungkinkan guru dan calon guru mengembangkan media yang lebih menarik, seperti infografik, skenario komik edukatif, video pembelajaran, simulasi naratif, kuis interaktif, peta konsep, atau ilustrasi fenomena kimia. Kreativitas digital ini dapat membantu meningkatkan motivasi belajar kimia, terutama jika konsep yang dipelajari terasa abstrak atau sulit. AI dapat mendukung joyful learning apabila digunakan untuk membuat pembelajaran lebih hidup, kontekstual, dan menantang.

Namun, joyful learning tidak berarti pembelajaran berubah menjadi hiburan semata. Media yang menarik harus tetap berorientasi pada tujuan pembelajaran. Komik kimia yang lucu tetapi salah konsep tidak layak digunakan. Video animasi yang indah tetapi tidak menjelaskan hubungan partikel dan simbol kimia secara benar tidak cukup membantu. Infografik yang penuh warna tetapi keliru menafsirkan data dapat merusak pemahaman. Oleh karena itu, kreativitas berbantuan AI harus selalu dikaitkan dengan ketepatan ilmiah dan kedalaman pedagogis.

Peluang kesembilan adalah **dukungan terhadap refleksi dan metakognisi**. AI dapat membantu guru menyusun pertanyaan reflektif, jurnal belajar, panduan evaluasi diri, atau dialog metakognitif. Peserta didik dapat diminta menggunakan AI untuk meninjau pemahamannya sendiri, misalnya dengan bertanya: “Konsep apa yang belum saya pahami dari kesetimbangan kimia?” atau “Apakah

penjelasan saya tentang ikatan kovalen sudah benar?" Jika diarahkan dengan baik, AI dapat membantu siswa menyadari proses berpikirnya. Hal ini berkaitan dengan mindful learning, yaitu pembelajaran yang melibatkan kesadaran, refleksi, dan pengendalian diri.

Namun, refleksi berbantuan AI harus tetap menjaga keaslian suara peserta didik. Jika semua refleksi dihasilkan AI, guru tidak lagi dapat membaca pengalaman belajar siswa yang sebenarnya. Oleh karena itu, penggunaan AI untuk refleksi perlu dibatasi. AI dapat memberi pertanyaan pemandu, tetapi siswa perlu menulis pengalaman, kesulitan, dan pemahamannya sendiri. Dalam pendidikan, refleksi bukan sekadar produk teks, melainkan proses kesadaran diri.

Peluang kesepuluh adalah **dukungan terhadap penelitian pendidikan kimia**. AI dapat membantu calon guru dan dosen dalam merancang instrumen, mengelompokkan data awal, merangkum literatur, menyusun pertanyaan penelitian, atau membantu analisis awal respons siswa. Dalam konteks sistematis, AI dapat mendukung penelitian tindakan kelas, design-based research, mixed methods, atau systematic literature review. Namun, AI tidak boleh menggantikan validitas metodologis. Peneliti tetap harus menjaga keabsahan data, transparansi prosedur, etika penelitian, dan akurasi sitasi.

Setelah peluang-peluang tersebut, penting untuk membahas keterbatasan AI secara serius. Keterbatasan pertama adalah **AI tidak benar-benar memahami kimia sebagaimana manusia memahami kimia**. Model bahasa besar menghasilkan respons berdasarkan pola bahasa dan data, bukan berdasarkan pengalaman eksperimen, intuisi ilmiah, atau pemahaman konseptual manusia. AI dapat menjelaskan hukum Hess, tetapi tidak melakukan pembuktian laboratorium. AI dapat menulis prosedur titrasi, tetapi tidak merasakan ketelitian membaca buret. AI dapat membuat analogi ikatan kimia, tetapi tidak memiliki tanggung jawab jika analogi itu menyesatkan. Karena itu, AI harus selalu diperlakukan sebagai alat bantu, bukan subjek ilmiah yang memahami dunia kimia secara manusiawi.

Keterbatasan kedua adalah **risiko halusinasi dan kesalahan konsep**. AI dapat menghasilkan informasi yang terdengar benar tetapi keliru. Dalam kimia, risiko ini tinggi karena banyak konsep bersifat teknis dan saling terkait. Kesalahan pada konsep dasar dapat merambat ke topik lanjutan. Misalnya, jika AI menjelaskan bahwa katalis menggeser kesetimbangan, siswa dapat salah memahami prinsip Le Chatelier. Jika AI menyatakan bahwa semua reaksi eksoterm pasti spontan, siswa dapat salah memahami termodinamika. Jika AI menyamakan asam kuat dengan asam pekat, siswa dapat keliru dalam memahami pH dan ionisasi. Karena itu, setiap keluaran AI harus divalidasi.

Keterbatasan ketiga adalah **ketergantungan pada kualitas prompt**. AI sangat dipengaruhi oleh instruksi yang diberikan. Prompt yang terlalu umum sering menghasilkan jawaban yang dangkal. Prompt yang tidak menyebut jenjang siswa dapat menghasilkan penjelasan terlalu sulit atau terlalu sederhana. Prompt yang tidak memberi batasan keselamatan dapat menghasilkan prosedur praktikum yang tidak layak. Oleh karena itu, guru dan calon guru perlu menguasai prompt engineering. File mata kuliah memasukkan kemampuan mengembangkan prompt efektif sebagai salah satu capaian pembelajaran utama.

Keterbatasan keempat adalah **bias data dan bias algoritmik**. AI belajar dari data yang tersedia. Jika data tersebut mengandung bias budaya, bahasa, sosial, atau akademik, keluaran AI dapat mencerminkan bias tersebut. Dalam pendidikan kimia, bias dapat muncul dalam contoh konteks yang terlalu berpusat pada negara tertentu, asumsi fasilitas laboratorium yang tidak sesuai dengan sekolah di Indonesia, penggunaan istilah yang tidak lazim, atau pengabaian konteks lokal. Guru perlu menyesuaikan keluaran AI dengan realitas peserta didik dan lingkungan belajar.

Keterbatasan kelima adalah **risiko plagiarisme dan pelanggaran integritas akademik**. AI dapat memudahkan siswa atau mahasiswa menghasilkan tugas tanpa proses belajar yang memadai. Mereka dapat meminta AI membuat laporan praktikum, jawaban soal, ringkasan artikel, atau refleksi pembelajaran. Jika tidak ada aturan yang jelas, penggunaan AI dapat mengaburkan batas antara bantuan dan kecurangan. Oleh karena itu, guru dan dosen perlu menyusun kebijakan penggunaan AI yang transparan: apa yang boleh, apa yang tidak boleh, bagaimana melaporkan penggunaan AI, dan bagaimana menilai kontribusi asli peserta didik.

Keterbatasan keenam adalah **risiko melemahnya nalar ilmiah**. Jika peserta didik terbiasa langsung meminta jawaban kepada AI, mereka dapat kehilangan kesempatan untuk berjuang memahami konsep, membuat kesalahan, merevisi pemikiran, dan membangun penalaran. Dalam kimia, proses berpikir sangat penting. Siswa perlu belajar mengapa reaksi terjadi, bagaimana data ditafsirkan, mengapa suatu model digunakan, dan bagaimana argumen ilmiah dibangun. AI sebaiknya digunakan untuk membantu proses tersebut, bukan untuk melewatinya.

Keterbatasan ketujuh adalah **privasi dan keamanan data**. Penggunaan AI sering melibatkan platform digital yang mungkin menyimpan masukan pengguna. Guru dan calon guru tidak boleh sembarangan memasukkan data pribadi siswa, nilai, identitas, atau informasi sensitif ke dalam sistem AI. File deskripsi mata kuliah menekankan pentingnya keamanan data dan tanggung jawab pendidik dalam menggunakan AI. Dalam praktiknya, sekolah dan perguruan tinggi perlu memiliki pedoman penggunaan AI, terutama jika melibatkan data peserta didik.

Keterbatasan kedelapan adalah **kesenjangan akses teknologi**. Tidak semua guru, siswa, sekolah, atau perguruan tinggi memiliki akses yang sama terhadap perangkat, internet, dan aplikasi AI berkualitas. Jika penggunaan AI tidak dirancang secara adil, teknologi ini dapat memperbesar kesenjangan pendidikan. Sekolah dengan fasilitas baik akan semakin maju, sedangkan sekolah dengan fasilitas terbatas tertinggal. Oleh karena itu, integrasi AI dalam pendidikan kimia harus mempertimbangkan konteks infrastruktur. Guru perlu mencari strategi yang realistis, termasuk penggunaan AI secara terbatas, berbasis kelompok, atau melalui perangkat yang tersedia.

Keterbatasan kesembilan adalah **ketidaksesuaian dengan kurikulum dan konteks lokal**. AI umum tidak selalu memahami kurikulum nasional, capaian pembelajaran, karakteristik sekolah, budaya belajar, atau bahasa lokal. AI dapat menyarankan materi terlalu tinggi, terlalu rendah, atau tidak sesuai urutan pembelajaran. Guru perlu menyesuaikan keluaran AI dengan kurikulum yang berlaku. Dalam pendidikan kimia, urutan konsep sangat penting. Materi kesetimbangan tidak dapat diajarkan secara mendalam jika siswa belum memahami mol, konsentrasi, reaksi kimia, dan konsep laju secara memadai.

Keterbatasan kesepuluh adalah **tidak adanya tanggung jawab moral pada AI**. AI tidak memiliki komitmen etis seperti guru. AI tidak memahami dampak emosional jawaban terhadap siswa. AI tidak bertanggung jawab jika memberi saran yang salah. AI tidak memiliki kepedulian terhadap keselamatan laboratorium, kecuali sejauh pola tersebut terdapat dalam datanya dan diminta oleh pengguna. Karena itu, tanggung jawab moral tetap berada pada manusia. Guru harus menjadi penjaga nilai, keselamatan, keadilan, dan integritas dalam penggunaan AI.

Berdasarkan peluang dan keterbatasan tersebut, guru dan calon guru kimia perlu mengembangkan sikap **kritis-produktif**. Kritis berarti tidak menerima keluaran AI secara mentah, selalu memeriksa konsep, mempertimbangkan etika, dan menyadari risiko. Produktif berarti tidak menolak AI secara total, melainkan memanfaatkannya untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. Sikap kritis tanpa produktivitas dapat membuat guru tertinggal dari perkembangan teknologi. Produktivitas tanpa sikap kritis dapat membuat guru menggunakan AI secara berbahaya. Keduanya harus berjalan seimbang.

Dalam praktik pembelajaran, sikap kritis-produktif dapat diwujudkan melalui beberapa prinsip. Pertama, gunakan AI untuk membantu merancang, bukan menggantikan berpikir. Kedua, validasi semua konsep kimia yang dihasilkan AI. Ketiga, gunakan AI untuk memperkaya variasi representasi, bukan memperindah materi tanpa substansi. Keempat, ajarkan kepada siswa cara menggunakan AI secara jujur dan bertanggung jawab. Kelima, hindari memasukkan data pribadi peserta didik ke dalam platform yang tidak jelas kebijakannya. Keenam, dokumentasikan penggunaan AI dalam tugas akademik jika diperlukan. Ketujuh, jadikan AI sebagai alat refleksi dan pengembangan profesional.

Bagi calon guru kimia, pemahaman peluang dan keterbatasan AI perlu dilatih melalui tugas nyata. Mahasiswa dapat diminta membuat bahan ajar dengan bantuan AI, lalu menandai bagian mana yang dihasilkan AI, bagian mana yang direvisi, bagian mana yang divalidasi, dan sumber apa yang digunakan untuk memeriksa konsep. Mahasiswa juga dapat diminta membandingkan beberapa keluaran AI untuk topik yang sama, misalnya ikatan hidrogen, larutan penyangga, atau reaksi redoks. Dari perbandingan itu, mahasiswa belajar bahwa AI dapat membantu, tetapi kualitas keluarannya bergantung pada prompt, model, dan validasi manusia.

Mahasiswa calon guru juga perlu dilatih mengidentifikasi kesalahan AI. Misalnya, dosen dapat memberikan keluaran AI yang sengaja mengandung miskonsepsi tentang katalis, asam kuat, ikatan ionik, atau energi aktivasi. Mahasiswa diminta menemukan kesalahan, menjelaskan alasan ilmiahnya, dan memperbaiki penjelasan. Aktivitas semacam ini sangat penting karena membangun literasi AI sekaligus literasi kimia. Tujuannya bukan membuat mahasiswa takut menggunakan AI, tetapi membuat mereka menjadi pengguna yang cerdas dan bertanggung jawab.

Dengan demikian, AI memberikan peluang besar bagi guru dan calon guru kimia dalam perencanaan pembelajaran, pengembangan bahan ajar, visualisasi konsep, diferensiasi, asesmen, praktikum, kreativitas digital, refleksi, dan penelitian pendidikan. Namun, AI juga memiliki keterbatasan serius: halusinasi, bias, ketergantungan, kesalahan konsep, risiko integritas akademik, privasi data, kesenjangan akses, dan tidak adanya tanggung jawab moral. Oleh karena itu, kualitas penggunaan AI dalam pembelajaran kimia tidak ditentukan oleh kecanggihan teknologinya saja, tetapi oleh kompetensi, kebijaksanaan, dan integritas pendidik yang menggunakannya.

Subbab berikutnya akan membahas **literasi AI sebagai kompetensi baru pendidik kimia**. Pembahasan tersebut penting karena agar guru dan calon guru mampu memanfaatkan peluang serta mengendalikan keterbatasan AI, mereka memerlukan literasi khusus yang mencakup pemahaman konsep AI, keterampilan prompt, validasi konten, etika penggunaan, keamanan data, dan kemampuan mengintegrasikan AI ke dalam desain pembelajaran kimia.

1.9 Literasi AI sebagai Kompetensi Baru Pendidik Kimia

Literasi AI atau *artificial intelligence literacy* merupakan kompetensi baru yang semakin penting bagi pendidik kimia. Kompetensi ini tidak hanya berarti kemampuan menggunakan aplikasi AI, tetapi mencakup pemahaman konseptual, keterampilan teknis dasar, kemampuan pedagogis, sikap kritis, kesadaran etis, dan tanggung jawab profesional dalam memanfaatkan AI untuk pembelajaran. Dalam konteks pendidikan kimia, literasi AI menjadi semakin penting karena guru dan calon guru berhadapan dengan bidang ilmu yang menuntut akurasi konsep, validasi ilmiah, keselamatan laboratorium, pemahaman representasi, dan kemampuan menilai kualitas informasi.

File deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia* menegaskan bahwa mahasiswa perlu memahami perkembangan teknologi AI serta mengintegrasikannya secara kritis, kreatif, etis, dan pedagogis dalam pembelajaran kimia. Dokumen tersebut juga menetapkan beberapa capaian pembelajaran yang berkaitan langsung dengan literasi AI, seperti kemampuan menjelaskan konsep dasar AI, menganalisis peluang dan keterbatasan AI, mengembangkan prompt, memanfaatkan AI untuk visualisasi konsep kimia, mengevaluasi akurasi dan bias, serta menerapkan prinsip etika, keamanan data, dan integritas akademik. Dengan demikian, literasi AI dalam buku ini tidak dipahami sebagai kemampuan teknis sempit, tetapi sebagai kompetensi profesional pendidik kimia.

Secara umum, literasi AI dapat dipahami sebagai kemampuan seseorang untuk memahami apa itu AI, bagaimana AI bekerja secara konseptual, bagaimana AI digunakan, bagaimana menilai keluaran AI, bagaimana mengenali risiko AI, dan bagaimana menggunakan AI secara bertanggung jawab. Dalam pendidikan, literasi AI memiliki dimensi yang lebih kompleks karena guru tidak hanya menggunakan AI untuk dirinya sendiri, tetapi juga membimbing peserta didik agar mampu menggunakan AI secara benar. UNESCO melalui *AI Competency Framework for Teachers* menempatkan kompetensi AI guru dalam lima dimensi utama: pola pikir berpusat pada manusia, etika AI, fondasi dan aplikasi AI, pedagogi AI, serta AI untuk pengembangan profesional guru.

Kerangka UNESCO tersebut sangat relevan bagi pendidik kimia. Pertama, pola pikir berpusat pada manusia menegaskan bahwa AI harus digunakan untuk memperkuat kemampuan manusia, bukan menggantikan peran manusia dalam pendidikan. Kedua, etika AI penting karena pembelajaran kimia berkaitan dengan data peserta didik, kejujuran akademik, keselamatan eksperimen, dan tanggung jawab sosial. Ketiga, fondasi AI diperlukan agar guru tidak menggunakan teknologi secara buta. Keempat, pedagogi AI diperlukan agar AI benar-benar mendukung pembelajaran, bukan sekadar mempercepat produksi tugas. Kelima, AI untuk pengembangan profesional penting karena guru harus terus belajar mengikuti perkembangan teknologi.

Dalam pendidikan kimia, literasi AI harus berpijak pada literasi kimia. Guru yang mampu menggunakan AI tetapi lemah dalam konsep kimia akan sulit menilai apakah keluaran AI benar.

Sebaliknya, guru yang kuat dalam kimia tetapi tidak memahami AI dapat tertinggal dalam memanfaatkan teknologi yang dapat membantu pembelajaran. Karena itu, pendidik kimia memerlukan **literasi ganda**, yaitu literasi kimia dan literasi AI. Literasi kimia membantu guru menilai substansi ilmiah, sedangkan literasi AI membantu guru memahami cara menggunakan, mengarahkan, dan mengkritisi teknologi.

Dimensi pertama literasi AI bagi pendidik kimia adalah **pemahaman konseptual tentang AI**. Guru perlu memahami perbedaan antara AI, machine learning, deep learning, generative AI, model bahasa besar, chatbot, sistem rekomendasi, tutor cerdas, dan pembelajaran adaptif. Pemahaman ini penting agar guru tidak menyamaratakan semua aplikasi digital sebagai AI. Selain itu, guru perlu memahami bahwa AI bekerja berdasarkan data, algoritma, model, dan pola, bukan berdasarkan pemahaman manusiawi yang utuh. Pemahaman konseptual ini akan mencegah guru terlalu percaya pada keluaran AI hanya karena bahasanya terdengar meyakinkan.

Dimensi kedua adalah **kemampuan menggunakan AI secara fungsional**. Guru kimia perlu mampu menggunakan AI untuk tujuan pembelajaran yang nyata, seperti menyusun bahan ajar, membuat LKPD, mengembangkan soal, menyusun rubrik, merancang skenario diskusi, membuat peta konsep, menyiapkan praktikum, menganalisis miskonsepsi, dan memberi umpan balik. File deskripsi mata kuliah menyebutkan bahwa mata kuliah ini melatih mahasiswa menggunakan AI untuk menyusun modul, LKPD, media pembelajaran, soal HOTS, rubrik penilaian, peta konsep, infografik, simulasi eksperimen, virtual laboratory, animasi molekul, analisis miskonsepsi, serta rancangan pembelajaran berbasis meaningful learning, mindful learning, dan joyful learning.

Namun, kemampuan menggunakan AI tidak cukup jika hanya bersifat operasional. Guru tidak hanya perlu mengetahui tombol mana yang harus diklik atau aplikasi mana yang digunakan. Guru harus mampu memilih alat sesuai tujuan pedagogis. Jika tujuannya membuat soal diagnostik, AI digunakan untuk membantu menyusun indikator dan kemungkinan miskonsepsi. Jika tujuannya visualisasi, AI digunakan untuk memperjelas hubungan antara level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Jika tujuannya refleksi, AI digunakan untuk menghasilkan pertanyaan metakognitif. Dengan demikian, penggunaan AI harus selalu dimulai dari tujuan pembelajaran, bukan dari daya tarik teknologi.

Dimensi ketiga adalah **prompt engineering**. Dalam interaksi dengan generative AI, kualitas keluaran sangat dipengaruhi oleh kualitas prompt. Guru kimia perlu mampu menyusun prompt yang jelas, kontekstual, bertahap, dan berbasis tujuan pembelajaran. Prompt yang baik memuat peran AI, target peserta didik, topik kimia, batasan materi, format keluaran, tingkat kedalaman, kriteria kualitas, dan instruksi validasi. Misalnya, prompt “buatkan soal kimia” terlalu umum. Prompt yang lebih baik adalah: “Bertindaklah sebagai guru kimia SMA. Buat lima soal diagnostik miskonsepsi tentang perbedaan asam kuat, asam pekat, asam lemah, dan pH. Sertakan kunci jawaban, alasan, kemungkinan miskonsepsi, dan umpan balik singkat.”

Prompt engineering menjadi penting karena kimia memiliki struktur konsep yang ketat. Jika prompt tidak memberikan batasan, AI dapat menghasilkan materi yang terlalu umum, terlalu tinggi, tidak sesuai kurikulum, atau keliru secara konsep. Guru perlu belajar melakukan iterasi prompt: memberi instruksi awal, menilai keluaran, memperbaiki prompt, meminta revisi, menambahkan batasan, dan memvalidasi hasil. Studi tentang penggunaan generative AI oleh calon

guru kimia menunjukkan bahwa mahasiswa perlu dibimbing untuk mengembangkan strategi prompting yang lebih reflektif, karena penggunaan awal sering masih bersifat sederhana dan langsung.

Dimensi keempat adalah **validasi konten kimia**. Ini merupakan inti literasi AI bagi pendidik kimia. Guru harus mampu memeriksa apakah jawaban AI sesuai dengan teori kimia, hukum dasar, data eksperimen, representasi, satuan, nomenklatur, dan keselamatan. Validasi diperlukan untuk semua jenis keluaran: teks penjelasan, soal, rubrik, LKPD, prosedur praktikum, gambar molekul, infografik, simulasi, dan analisis data. Jika AI menghasilkan persamaan reaksi, guru harus memeriksa kesetaraan. Jika AI membuat struktur molekul, guru harus memeriksa valensi dan geometri. Jika AI membuat praktikum, guru harus memeriksa K3 dan limbah.

Validasi konten tidak boleh dianggap sebagai tahap tambahan yang bersifat opsional. Dalam pembelajaran kimia, validasi adalah syarat utama. Kesalahan konsep dapat menghasilkan miskonsepsi yang bertahan lama. Kesalahan prosedur praktikum dapat membahayakan keselamatan. Kesalahan soal dapat merusak asesmen. Kesalahan visualisasi dapat memperkuat gambaran partikel yang keliru. Karena itu, literasi AI pendidik kimia harus menempatkan guru sebagai validator ilmiah. AI dapat membantu menghasilkan draf, tetapi guru menentukan kelayakan akademik dan pedagogisnya.

Dimensi kelima adalah **pemahaman terhadap halusinasi AI**. Halusinasi AI adalah kondisi ketika sistem menghasilkan informasi yang tidak benar, tidak berdasar, atau tidak dapat diverifikasi, tetapi disajikan dengan gaya bahasa yang meyakinkan. Dalam kimia, halusinasi dapat sangat berbahaya karena siswa mungkin percaya pada jawaban yang tampak ilmiah. Guru perlu memahami bahwa AI dapat keliru dalam persamaan reaksi, pH, struktur molekul, konfigurasi elektron, mekanisme reaksi, data keselamatan, bahkan referensi. Oleh karena itu, guru perlu mengajarkan kepada siswa prinsip sederhana: keluaran AI harus diperiksa, bukan disalin.

Dimensi keenam adalah **literasi data**. AI bekerja berdasarkan data. Karena itu, pendidik kimia perlu memahami bahwa kualitas data memengaruhi kualitas keluaran AI. Dalam pembelajaran adaptif atau learning analytics, data siswa dapat digunakan untuk merekomendasikan materi atau memprediksi kesulitan belajar. Guru harus memahami jenis data apa yang digunakan, bagaimana data diproses, apa batas interpretasinya, dan risiko bias yang mungkin muncul. Misalnya, nilai rendah pada kuis kimia tidak selalu berarti siswa tidak memahami konsep; bisa jadi soal ambigu, siswa kurang teliti, atau instrumen tidak valid. Data harus ditafsirkan dengan pengetahuan pedagogis.

Literasi data juga penting dalam praktikum kimia. AI dapat membantu menganalisis data percobaan, membuat grafik, mengidentifikasi tren, atau menyusun kesimpulan awal. Akan tetapi, guru dan siswa harus memahami sumber kesalahan eksperimen, ketidakpastian pengukuran, angka penting, satuan, variabel kontrol, dan validitas data. AI dapat membantu analisis, tetapi tidak dapat menggantikan pemahaman ilmiah tentang bagaimana data diperoleh. Dalam kimia, data bukan sekadar angka; data adalah hasil dari prosedur, alat, kondisi eksperimen, dan interpretasi teoritis.

Dimensi ketujuh adalah **etika akademik dan integritas penggunaan AI**. Guru dan calon guru kimia harus memahami batas penggunaan AI dalam tugas, laporan, asesmen, penelitian, dan

publikasi. AI dapat membantu menyusun draf, memperbaiki bahasa, menghasilkan ide, atau membuat struktur awal. Namun, penggunaan AI harus transparan dan tidak boleh digunakan untuk menipu. Peserta didik perlu mengetahui kapan AI boleh digunakan, bagaimana melaporkannya, dan bagian mana yang harus merupakan hasil pemikiran sendiri. File deskripsi mata kuliah menekankan pentingnya etika akademik, hak cipta, keamanan data, bias algoritmik, dan tanggung jawab pendidik dalam menggunakan AI.

Dalam pendidikan kimia, integritas akademik sangat penting pada laporan praktikum. Jika siswa menggunakan AI untuk menulis laporan tanpa melakukan analisis data sendiri, maka tujuan praktikum gagal tercapai. Jika mahasiswa meminta AI membuat pembahasan hasil eksperimen tanpa memahami data, maka mereka kehilangan kesempatan belajar. Guru dapat mengizinkan AI untuk membantu menyusun kerangka laporan atau memberi pertanyaan reflektif, tetapi analisis data, interpretasi hasil, dan kesimpulan harus berasal dari pemahaman siswa. Kebijakan ini perlu dijelaskan secara eksplisit.

Dimensi kedelapan adalah **kesadaran privasi dan keamanan data**. Banyak platform AI memproses masukan pengguna melalui server eksternal. Guru tidak boleh sembarangan memasukkan data pribadi siswa, nilai, identitas, alamat, atau informasi sensitif ke dalam sistem AI. Jika guru menggunakan AI untuk menganalisis respons siswa, data perlu dianonimkan. Jika menggunakan platform tertentu di kelas, guru perlu memahami kebijakan data dan persetujuan penggunaan. UNESCO menekankan bahwa kompetensi AI guru harus mencakup etika dan perlindungan hak manusia dalam penggunaan AI.

Dimensi kesembilan adalah **kemampuan pedagogis mengintegrasikan AI**. Literasi AI tidak berarti guru selalu menggunakan AI dalam semua pembelajaran. Guru yang literat AI justru mampu menentukan kapan AI perlu digunakan dan kapan tidak. Pada beberapa situasi, diskusi langsung, eksperimen nyata, demonstrasi, atau penjelasan guru lebih tepat daripada AI. Pada situasi lain, AI dapat membantu menyediakan variasi penjelasan, remedial, visualisasi, atau latihan tambahan. Guru yang literat AI mampu memilih teknologi berdasarkan tujuan pedagogis, bukan karena tekanan tren.

Dalam pembelajaran kimia, integrasi AI harus mempertimbangkan karakter materi. Untuk topik visual seperti geometri molekul, AI dapat membantu membuat ilustrasi dan penjelasan visual. Untuk topik hitungan seperti stoikiometri, AI dapat membantu scaffolding langkah penyelesaian. Untuk topik praktikum, AI dapat membantu persiapan dan analisis data, tetapi tidak menggantikan pengalaman empiris. Untuk topik etika kimia, AI dapat digunakan sebagai pemantik diskusi tentang dampak teknologi, lingkungan, dan masyarakat. Dengan demikian, AI perlu diintegrasikan secara selektif.

Dimensi kesepuluh adalah **kemampuan mengembangkan pembelajaran bermakna, reflektif, dan menyenangkan berbantuan AI**. File mata kuliah menegaskan bahwa AI digunakan untuk mendukung meaningful learning, mindful learning, dan joyful learning. Dalam meaningful learning, AI membantu menghubungkan konsep baru dengan pengetahuan awal siswa. Dalam mindful learning, AI membantu siswa merefleksikan proses berpikirnya. Dalam joyful learning, AI membantu menciptakan pengalaman belajar yang menarik, kreatif, dan tidak menakutkan. Namun, ketiganya hanya tercapai jika AI digunakan dengan desain pedagogis yang matang.

Literasi AI juga harus mencakup kemampuan **mengkritisi hasil AI bersama peserta didik**. Guru tidak selalu harus menyembunyikan kesalahan AI. Justru kesalahan AI dapat digunakan sebagai bahan belajar. Guru dapat menampilkan jawaban AI tentang suatu konsep kimia, lalu meminta siswa menilai apakah jawaban itu benar, bagian mana yang kurang tepat, dan bagaimana memperbaikinya. Aktivitas ini melatih literasi kimia, berpikir kritis, dan literasi AI sekaligus. Dalam era AI, kemampuan mengkritisi jawaban mesin menjadi bagian dari kemampuan ilmiah.

Sebagai contoh, guru dapat meminta AI menjelaskan fungsi katalis. Jika AI menyatakan bahwa katalis "menggeser kesetimbangan ke arah produk", siswa diminta mengoreksi bahwa katalis mempercepat tercapainya kesetimbangan dengan menurunkan energi aktivasi, tetapi tidak mengubah posisi kesetimbangan. Aktivitas seperti ini membantu siswa memahami konsep sekaligus menyadari bahwa AI dapat keliru. Dengan demikian, AI tidak hanya digunakan sebagai pemberi jawaban, tetapi sebagai objek evaluasi kritis.

Literasi AI bagi pendidik kimia juga berkaitan dengan **pengembangan profesional berkelanjutan**. Teknologi AI berubah sangat cepat. Aplikasi yang populer hari ini dapat berubah dalam beberapa bulan. Model baru dapat muncul dengan kemampuan dan risiko baru. Karena itu, guru tidak cukup belajar satu aplikasi. Guru perlu membangun prinsip dasar yang dapat diterapkan pada berbagai teknologi: memahami cara kerja umum AI, menyusun prompt, memvalidasi keluaran, menjaga etika, melindungi data, dan mengaitkan teknologi dengan tujuan pembelajaran. Prinsip ini lebih tahan lama daripada keterampilan menggunakan satu platform tertentu.

Dalam konteks pendidikan guru, literasi AI sebaiknya tidak diajarkan hanya melalui kuliah teori. Mahasiswa calon guru perlu mengalami proses praktik, evaluasi, revisi, dan refleksi. Mereka dapat diberi tugas membuat modul ajar berbantuan AI, lalu memeriksa akurasi konsep. Mereka dapat diminta membuat LKPD praktikum, lalu mengevaluasi aspek keselamatan. Mereka dapat menyusun soal HOTS dengan AI, lalu memeriksa validitas indikator. Mereka dapat membuat media visual, lalu memeriksa risiko miskonsepsi. Mereka dapat membuat refleksi etis tentang batas penggunaan AI. Produk akhir mata kuliah berupa portofolio perangkat pembelajaran kimia berbasis AI sangat tepat untuk membangun literasi ini.

Literasi AI juga perlu dikembangkan melalui pendekatan kolaboratif. Guru kimia dapat bekerja sama dengan dosen pendidikan kimia, ahli teknologi pembelajaran, ahli kimia komputasi, pengembang media, dan peneliti pendidikan. Integrasi AI dalam pembelajaran kimia terlalu kompleks jika dilakukan secara individual tanpa dialog akademik. Kolaborasi memungkinkan validasi konsep, pengujian media, perbaikan asesmen, dan penyusunan pedoman etis yang lebih kuat. Dalam konteks perguruan tinggi, mata kuliah ini dapat menjadi ruang kolaboratif antara kimia, pendidikan, teknologi, dan etika.

Salah satu indikator pendidik kimia yang literat AI adalah kemampuan membuat keputusan yang seimbang. Ia tidak menolak AI hanya karena takut teknologi, tetapi juga tidak menerima AI secara naif. Ia tidak menganggap AI sebagai ancaman mutlak terhadap guru, tetapi juga tidak menganggap AI sebagai solusi ajaib untuk semua masalah pembelajaran. Ia mampu menempatkan AI sebagai alat bantu yang harus diarahkan, dikritisi, dan divalidasi. Sikap seimbang ini sangat penting karena pendidikan sering terjebak antara euforia teknologi dan resistensi total terhadap perubahan.

Pendidik kimia yang literat AI juga memahami bahwa peserta didik hidup dalam ekosistem digital. Banyak siswa sudah menggunakan AI, baik dengan bimbingan guru maupun tanpa bimbingan. Jika guru mengabaikan AI, siswa mungkin tetap menggunakannya secara tidak terarah. Karena itu, pendidikan kimia perlu mengajarkan penggunaan AI secara benar, bukan sekadar melarang. Larangan total sering tidak realistis, sedangkan kebebasan tanpa pedoman berbahaya. Jalan tengah yang lebih produktif adalah membuat aturan, memberi contoh, melatih validasi, dan membangun budaya akademik yang jujur.

Dalam konteks kelas, guru dapat menyusun pedoman literasi AI sederhana. Misalnya, siswa boleh menggunakan AI untuk meminta penjelasan ulang, mencari variasi contoh, atau membuat latihan tambahan. Siswa tidak boleh menyalin jawaban AI sebagai jawaban tugas tanpa analisis. Siswa harus mencantumkan penggunaan AI jika AI membantu penyusunan tugas tertentu. Siswa harus membandingkan jawaban AI dengan buku teks atau sumber lain. Siswa harus mampu menjelaskan dengan kata-kata sendiri konsep yang dipelajari. Pedoman seperti ini membantu membentuk integritas sejak awal.

Literasi AI juga harus mencakup kemampuan membedakan **produk AI** dan **proses belajar**. Produk AI bisa terlihat baik: tulisan rapi, soal lengkap, rubrik sistematis, atau rangkuman jelas. Namun, pendidikan tidak hanya menilai produk akhir. Pendidikan menilai proses memahami, menalar, berdiskusi, bereksperimen, dan merefleksikan. Jika AI menghasilkan produk tetapi siswa tidak memahami prosesnya, maka pembelajaran belum berhasil. Oleh karena itu, guru perlu merancang asesmen yang menuntut penjelasan lisan, refleksi proses, analisis data asli, praktik laboratorium, dan argumentasi.

Dalam pembelajaran kimia, literasi AI juga perlu dikaitkan dengan keselamatan. Guru yang literat AI tidak akan langsung menerima prosedur praktikum dari AI. Ia akan memeriksa bahan kimia, konsentrasi, alat pelindung diri, ventilasi, limbah, reaksi samping, dan kelayakan untuk jenjang peserta didik. AI dapat membantu memberikan rancangan awal, tetapi guru harus menggunakan pengetahuan laboratorium dan standar keselamatan. Keselamatan adalah wilayah yang tidak boleh dikompromikan oleh efisiensi teknologi.

Literasi AI juga perlu memperhatikan hak cipta dan atribusi. AI dapat membantu membuat teks, gambar, infografik, atau media pembelajaran, tetapi guru perlu memahami aturan penggunaan konten, lisensi platform, dan etika atribusi. Jika AI membantu menyusun materi, penggunaannya perlu dinyatakan sesuai kebijakan institusi. Jika AI menggunakan atau meniru gaya tertentu, guru perlu berhati-hati terhadap potensi pelanggaran hak cipta. Dalam pendidikan, etika produksi media sama pentingnya dengan kualitas isi.

Dalam konteks pendidikan tinggi, literasi AI bagi mahasiswa calon guru kimia sebaiknya dinilai melalui beberapa indikator. Pertama, mahasiswa mampu menjelaskan konsep dasar AI. Kedua, mahasiswa mampu memilih alat AI sesuai tujuan pembelajaran. Ketiga, mahasiswa mampu menyusun prompt yang efektif. Keempat, mahasiswa mampu memvalidasi keluaran AI secara kimia. Kelima, mahasiswa mampu mengidentifikasi bias dan halusinasi. Keenam, mahasiswa mampu menyusun kebijakan penggunaan AI dalam kelas. Ketujuh, mahasiswa mampu mengembangkan perangkat pembelajaran berbantuan AI. Kedelapan, mahasiswa mampu menulis

refleksi etis atas penggunaan AI. Indikator-indikator ini selaras dengan capaian mata kuliah yang tercantum dalam dokumen deskripsi mata kuliah.

Literasi AI juga tidak boleh hanya berorientasi pada guru. Guru yang literat AI harus mampu menumbuhkan literasi AI peserta didik. Peserta didik perlu belajar bertanya kepada AI dengan baik, memeriksa jawaban, mengenali informasi yang meragukan, menyadari bias, menjaga privasi, dan menggunakan AI secara jujur. UNESCO juga mengembangkan kerangka kompetensi AI untuk siswa yang menekankan integrasi AI dalam pendidikan melalui dimensi kompetensi yang sesuai bagi peserta didik. Dalam pembelajaran kimia, kompetensi ini dapat dikembangkan melalui aktivitas membandingkan jawaban AI dengan eksperimen, buku teks, dan diskusi kelas.

Secara praktis, literasi AI dalam pembelajaran kimia dapat dikembangkan melalui model bertahap. Tahap pertama adalah **mengenal AI**, yaitu memahami pengertian, jenis, peluang, dan risiko. Tahap kedua adalah **menggunakan AI**, yaitu mencoba membuat penjelasan, soal, bahan ajar, atau media. Tahap ketiga adalah **mengevaluasi AI**, yaitu memeriksa akurasi, bias, dan kelayakan. Tahap keempat adalah **mengintegrasikan AI**, yaitu memasukkan AI ke dalam desain pembelajaran. Tahap kelima adalah **merefleksikan AI**, yaitu menilai dampak etis, pedagogis, dan sosial penggunaan AI. Tahap bertahap ini membantu mahasiswa tidak langsung melompat ke penggunaan praktis tanpa dasar konseptual.

Literasi AI juga perlu bersifat kontekstual terhadap kimia. Contoh literasi AI dalam mata pelajaran bahasa atau sejarah tidak selalu sama dengan kimia. Dalam kimia, guru perlu lebih berhati-hati terhadap representasi molekul, persamaan reaksi, stoikiometri, data eksperimen, prosedur laboratorium, dan keselamatan. Oleh karena itu, literasi AI pendidik kimia harus bersifat **domain-specific**. Guru tidak hanya memahami AI secara umum, tetapi memahami bagaimana AI bekerja dan berisiko dalam konteks konsep kimia.

Dalam perspektif kurikulum, literasi AI dapat menjadi bagian dari kompetensi abad ke-21 bagi pendidik kimia. Jika sebelumnya guru dituntut menguasai literasi digital, literasi informasi, dan literasi data, kini guru juga perlu menguasai literasi AI. Literasi ini tidak berdiri sendiri, tetapi berhubungan dengan literasi sains, literasi teknologi, literasi etika, dan literasi pedagogis. Pendidikan kimia masa depan membutuhkan guru yang mampu menggabungkan pengetahuan kimia, pedagogi, teknologi, data, dan nilai kemanusiaan.

Dengan demikian, literasi AI sebagai kompetensi baru pendidik kimia mencakup kemampuan memahami AI, menggunakan AI, menyusun prompt, memvalidasi konten kimia, mengenali halusinasi, membaca data, menjaga etika akademik, melindungi privasi, mengintegrasikan AI secara pedagogis, dan membimbing peserta didik menggunakan AI secara bertanggung jawab. Literasi ini tidak dapat dibangun melalui satu kali pelatihan singkat, tetapi melalui praktik berkelanjutan, refleksi, evaluasi, dan pengembangan profesional. Semakin kuat literasi AI pendidik kimia, semakin besar peluang AI digunakan untuk memperdalam pembelajaran, bukan mendangkalkannya.

Subbab berikutnya akan membahas **AI sebagai alat bantu pedagogis, bukan pengganti guru**. Pembahasan tersebut penting karena setelah memahami pentingnya literasi AI, pendidik kimia perlu menegaskan posisi filosofis dan pedagogis bahwa AI harus tetap berada di bawah kendali

manusia, sementara guru tetap menjadi pengarah utama proses pendidikan, validasi ilmiah, etika, dan pembentukan karakter ilmiah peserta didik.

1.10 AI sebagai Alat Bantu Pedagogis, Bukan Pengganti Guru

Kecerdasan buatan harus ditempatkan sebagai **alat bantu pedagogis**, bukan sebagai pengganti guru. Penegasan ini penting karena perkembangan AI, terutama generative AI, sering memunculkan dua respons ekstrem. Di satu sisi, ada pandangan yang terlalu optimistis bahwa AI dapat menyelesaikan hampir semua persoalan pendidikan: membuat bahan ajar, menjawab pertanyaan siswa, menyusun soal, memberi umpan balik, merancang praktikum, bahkan menggantikan fungsi guru. Di sisi lain, ada pandangan yang terlalu pesimistis bahwa AI semata-mata ancaman bagi pendidikan, merusak integritas akademik, dan harus dijauhkan dari kelas. Keduanya tidak memadai. Posisi yang lebih tepat adalah memahami AI sebagai teknologi yang dapat memperkuat kerja pedagogis guru, tetapi tetap harus dikendalikan oleh tujuan pendidikan, validitas ilmiah, etika, dan kebijaksanaan manusia.

Dalam konteks mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia*, file deskripsi mata kuliah menegaskan bahwa AI digunakan untuk mendukung perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, dan pengembangan pembelajaran kimia. Mahasiswa diarahkan agar mampu mengintegrasikan AI secara kritis, kreatif, etis, dan pedagogis, bukan sekadar menggunakannya sebagai mesin jawaban. Rumusan ini menunjukkan bahwa AI dalam pendidikan kimia tidak berdiri sebagai aktor utama, tetapi sebagai alat dalam desain pembelajaran yang tetap dikendalikan oleh guru, dosen, dan calon guru sebagai pengambil keputusan pedagogis.

Guru memiliki peran yang jauh lebih luas daripada sekadar menyampaikan informasi. Jika mengajar hanya dipahami sebagai menyampaikan jawaban, maka AI memang tampak dapat mengambil sebagian fungsi tersebut. Namun, pendidikan tidak pernah sesederhana pemindahan informasi dari sumber ke penerima. Guru bertugas memahami karakter peserta didik, membaca dinamika kelas, membangun motivasi, mengelola interaksi sosial, menumbuhkan sikap ilmiah, mengarahkan proses berpikir, mengembangkan etika, menjaga keselamatan belajar, serta membimbing peserta didik menjadi manusia yang mampu berpikir mandiri. AI dapat membantu sebagian pekerjaan teknis, tetapi tidak memiliki tanggung jawab moral dan relasi manusiawi seperti guru.

Dalam pembelajaran kimia, peran guru semakin tidak tergantikan karena kimia adalah ilmu yang menuntut ketepatan konsep, penalaran abstrak, keterampilan eksperimen, dan kemampuan representasional. Guru tidak hanya menjelaskan apa itu ikatan kimia, tetapi juga membantu siswa membedakan antara transfer elektron, pemakaian bersama elektron, gaya elektrostatik, polaritas, dan sifat zat. Guru tidak hanya memberi rumus pH, tetapi juga membantu siswa memahami perbedaan asam kuat, asam lemah, konsentrasi, ionisasi, hidrolisis garam, dan larutan penyangga. Guru tidak hanya memberi prosedur praktikum, tetapi juga memastikan keselamatan, ketelitian pengukuran, pengelolaan limbah, dan interpretasi data. AI dapat membantu menyediakan penjelasan atau contoh, tetapi guru tetap menjadi pengarah utama.

AI sebagai alat bantu pedagogis berarti AI digunakan untuk mendukung **tujuan pembelajaran**, bukan untuk menggantikan proses belajar. Misalnya, AI dapat membantu guru membuat beberapa

versi penjelasan tentang kesetimbangan kimia. Namun, guru harus memilih penjelasan yang paling sesuai dengan jenjang siswa, mengaitkannya dengan demonstrasi atau simulasi, menyiapkan pertanyaan pemantik, dan memeriksa apakah siswa memahami bahwa kesetimbangan bersifat dinamis. AI dapat membuat soal, tetapi guru harus menilai apakah soal tersebut mengukur capaian pembelajaran yang tepat. AI dapat membuat LKPD, tetapi guru harus memastikan bahwa aktivitasnya mendorong inquiry, bukan sekadar mengisi jawaban.

Sebagai alat pedagogis, AI dapat berperan dalam beberapa tahap pembelajaran. Pada tahap **perencanaan**, AI dapat membantu menyusun ide awal, alternatif aktivitas, bahan ajar, contoh kontekstual, asesmen, dan rubrik. Pada tahap **pelaksanaan**, AI dapat membantu menyediakan penjelasan tambahan, latihan, visualisasi, simulasi, atau pertanyaan reflektif. Pada tahap **evaluasi**, AI dapat membantu memberi umpan balik awal, menganalisis pola kesalahan, atau menyusun instrumen diagnostik. Pada tahap **pengembangan**, AI dapat membantu guru merevisi perangkat pembelajaran berdasarkan hasil refleksi dan data belajar. Akan tetapi, pada setiap tahap tersebut guru tetap harus menentukan keputusan akhir.

UNESCO menekankan bahwa penggunaan generative AI dalam pendidikan perlu diarahkan oleh visi pendidikan yang berpusat pada manusia, disertai pengembangan kapasitas pendidik, tata kelola, perlindungan data, dan kebijakan yang bertanggung jawab. Prinsip ini sangat penting dalam pendidikan kimia. AI yang digunakan tanpa kendali manusia dapat menghasilkan materi yang cepat tetapi dangkal, menarik tetapi salah, lengkap tetapi tidak sesuai konteks, atau efisien tetapi tidak etis. Pendidikan kimia memerlukan teknologi yang memperkuat manusia, bukan teknologi yang membuat manusia menyerahkan tanggung jawab ilmiah kepada mesin.

Salah satu alasan utama AI tidak dapat menggantikan guru adalah karena AI tidak memiliki **pemahaman konteks kelas secara utuh**. AI dapat menerima informasi yang ditulis dalam prompt, tetapi tidak benar-benar mengalami suasana kelas, ekspresi bingung siswa, dinamika kelompok, kecemasan menghadapi praktikum, atau perbedaan latar belakang peserta didik. Guru dapat melihat bahwa siswa diam bukan karena paham, tetapi karena takut bertanya. Guru dapat mengenali bahwa kesalahan siswa bukan karena malas, tetapi karena konsep prasyarat belum kuat. Guru dapat menyesuaikan nada bicara, contoh, dan pendekatan berdasarkan respons kelas. AI tidak memiliki kepekaan situasional semacam itu.

Alasan kedua adalah AI tidak memiliki **tanggung jawab etis**. Ketika AI memberikan jawaban yang salah, tanggung jawab tidak dapat dialihkan kepada AI. Dalam pendidikan, tanggung jawab tetap berada pada guru, dosen, lembaga, dan pengguna manusia. Jika AI menyusun prosedur praktikum yang tidak aman, guru harus menolaknya. Jika AI menghasilkan soal yang bias, guru harus memperbaikinya. Jika AI memberikan informasi kimia yang keliru, guru harus meluruskan. Jika siswa menggunakan AI untuk menipu, guru perlu membangun kebijakan dan budaya integritas. AI tidak memiliki komitmen moral; manusialah yang memilikinya.

Alasan ketiga adalah AI tidak memiliki **pengalaman empiris laboratorium**. Kimia adalah ilmu eksperimental. Pengetahuan kimia tidak hanya dibangun melalui bahasa, tetapi melalui observasi, pengukuran, manipulasi variabel, ketelitian prosedur, keselamatan kerja, dan interpretasi data. AI dapat menjelaskan titrasi, tetapi tidak membaca meniskus buret. AI dapat menjelaskan perubahan warna indikator, tetapi tidak mengalami ketidakpastian pengamatan. AI dapat menghasilkan tabel

data, tetapi tidak mengetahui apakah data tersebut berasal dari eksperimen nyata atau sekadar pola teks. Oleh karena itu, AI tidak boleh menggantikan pengalaman laboratorium yang menjadi bagian penting pembelajaran kimia.

Alasan keempat adalah AI tidak memiliki **relasi pedagogis**. Pendidikan bukan hanya interaksi kognitif, tetapi juga relasi kepercayaan, motivasi, empati, keteladanan, dan pembentukan karakter. Guru dapat memberi dorongan ketika siswa gagal, menumbuhkan rasa ingin tahu, membangun keberanian bertanya, dan membimbing sikap ilmiah. AI dapat menghasilkan kalimat motivasi, tetapi tidak memiliki kepedulian sejati. AI dapat meniru gaya dialog, tetapi tidak membangun hubungan manusiawi. Dalam pendidikan kimia, relasi ini penting karena banyak siswa menganggap kimia sulit dan menakutkan. Guru berperan membantu siswa melewati kecemasan tersebut.

AI sebagai alat bantu pedagogis juga berarti bahwa guru perlu menggunakannya secara **selektif**. Tidak semua aktivitas pembelajaran harus menggunakan AI. Ada saat ketika penjelasan langsung guru lebih tepat. Ada saat ketika diskusi kelompok lebih penting. Ada saat ketika eksperimen nyata harus diutamakan. Ada saat ketika siswa perlu berpikir tanpa bantuan AI agar kemampuan mandirinya berkembang. Literasi AI bukan berarti menggunakan AI terus-menerus, melainkan mampu menentukan kapan AI berguna, kapan tidak perlu, dan kapan justru berisiko.

Dalam pembelajaran kimia, selektivitas ini dapat diterapkan pada berbagai topik. Pada materi struktur atom, AI dapat membantu membuat analogi atau visualisasi, tetapi guru harus menekankan batas analogi agar tidak menyesatkan. Pada materi stoikiometri, AI dapat membantu memberikan petunjuk bertahap, tetapi siswa tetap harus berlatih menghitung sendiri. Pada materi praktikum asam-basa, AI dapat membantu persiapan konsep, tetapi praktik titrasi tetap perlu dilakukan dengan pengawasan guru. Pada materi kimia lingkungan, AI dapat membantu membuat skenario masalah, tetapi siswa tetap perlu membaca data dan berdiskusi kritis.

Salah satu fungsi pedagogis AI yang penting adalah sebagai **alat scaffolding**. Scaffolding berarti bantuan sementara yang diberikan agar peserta didik dapat mencapai pemahaman atau keterampilan yang belum mampu dicapai secara mandiri. AI dapat memberi petunjuk bertahap, menyediakan contoh tambahan, menyederhanakan penjelasan, atau mengajukan pertanyaan reflektif. Namun, scaffolding yang baik harus bersifat sementara. Jika AI terus-menerus memberi jawaban lengkap, siswa tidak belajar mandiri. Guru perlu mengatur agar AI tidak menjadi jalan pintas, tetapi menjadi tangga bantu yang perlahan dikurangi ketika pemahaman siswa meningkat.

AI juga dapat berperan sebagai **alat diferensiasi**. Guru dapat menggunakan AI untuk menyiapkan materi remedial, reguler, dan pengayaan. Siswa yang belum memahami konsep mol dapat diberi latihan prasyarat, sedangkan siswa yang sudah menguasai dapat diberi kasus kontekstual. Akan tetapi, diferensiasi berbantuan AI harus tetap menjaga ekspektasi akademik. Siswa yang lemah tidak boleh terus-menerus diberi materi sederhana sehingga tidak berkembang. Siswa yang kuat tidak boleh hanya diberi tugas tambahan tanpa pendalaman. Guru harus memastikan bahwa diferensiasi membantu semua siswa bergerak maju.

AI juga dapat menjadi **alat refleksi profesional guru**. Guru dapat menggunakan AI untuk meninjau rancangan pembelajaran, meminta alternatif strategi, menyusun pertanyaan reflektif,

atau membandingkan beberapa model asesmen. Namun, refleksi profesional tidak boleh diserahkan sepenuhnya kepada AI. Guru perlu mengaitkan masukan AI dengan pengalaman nyata di kelas, hasil belajar siswa, kondisi sekolah, dan nilai pendidikan. AI dapat memperluas perspektif, tetapi refleksi yang sejati tetap lahir dari kesadaran profesional guru.

Dalam pendidikan guru kimia, penting untuk melatih mahasiswa calon guru agar tidak menggunakan AI secara konsumtif. Mereka tidak cukup diminta "membuat modul dengan AI". Mereka harus diminta menunjukkan prosesnya: prompt apa yang digunakan, keluaran apa yang diperoleh, bagian mana yang direvisi, konsep apa yang divalidasi, sumber apa yang digunakan untuk memeriksa, dan bagaimana perangkat itu disesuaikan dengan peserta didik. Dengan cara ini, mahasiswa belajar bahwa AI adalah mitra kerja awal, bukan penentu akhir. File deskripsi mata kuliah menempatkan produk akhir berupa portofolio perangkat pembelajaran kimia berbantuan AI yang mencakup rancangan pembelajaran, bahan ajar, LKPD, media, asesmen, rubrik, analisis miskonsepsi, refleksi etika, dan evaluasi kelayakan implementasi. Portofolio semacam itu hanya bermakna jika mahasiswa dapat menjelaskan keputusan pedagogisnya, bukan sekadar mengumpulkan produk yang dihasilkan AI.

AI sebagai alat bantu pedagogis juga harus dikaitkan dengan **validasi konten**. Validasi adalah titik pembeda antara guru sebagai profesional dan pengguna AI biasa. Seorang pengguna umum mungkin cukup puas dengan jawaban yang terdengar benar, tetapi guru kimia harus memeriksa kebenaran ilmiah. Jika AI menjelaskan orbital sebagai lintasan elektron seperti planet mengelilingi matahari tanpa penjelasan probabilistik, guru perlu meluruskan. Jika AI membuat persamaan reaksi yang belum setara, guru harus memperbaiki. Jika AI menyarankan eksperimen tanpa kontrol keselamatan, guru harus menolak. Validasi bukan pekerjaan tambahan, melainkan inti tanggung jawab pendidik.

Kajian mutakhir dalam pendidikan kimia menunjukkan bahwa generative AI memang memberi peluang besar, tetapi penggunaannya perlu terus dievaluasi karena menyangkut akurasi pengetahuan, keterampilan prompting, dan dampaknya terhadap pembelajaran. Artikel *Journal of Chemical Education* tentang perkembangan generative AI dalam pendidikan kimia menegaskan perlunya penilaian ulang berkelanjutan terhadap posisi GenAI dalam pengajaran dan pembelajaran kimia seiring meningkatnya penggunaan dan kemampuan teknologi tersebut. Studi lain terhadap calon guru kimia juga menunjukkan bahwa penggunaan awal AI sering cenderung bergantung pada strategi *copy-paste*, sehingga diperlukan bimbingan untuk meningkatkan kemampuan prompting dan pemecahan masalah kimia. Kedua temuan ini memperkuat argumen bahwa guru tetap diperlukan sebagai pembimbing penggunaan AI yang bermakna.

AI juga tidak boleh menggantikan **proses berpikir siswa**. Salah satu bahaya penggunaan AI adalah kecenderungan siswa meminta jawaban final tanpa mengalami proses kebingungan, mencoba, salah, memperbaiki, dan memahami. Padahal, dalam belajar kimia, proses tersebut sangat penting. Siswa perlu mengalami bagaimana menyetarakan reaksi, mengapa koefisien diperlukan, bagaimana memilih rumus, mengapa satuan harus konsisten, dan bagaimana menafsirkan data. Jika AI langsung memberi jawaban, siswa kehilangan kesempatan membangun struktur pengetahuan. Guru harus merancang penggunaan AI agar tetap mendorong proses berpikir.

Salah satu strategi yang dapat digunakan adalah **AI sebagai lawan diskusi kritis**. Guru dapat meminta siswa tidak langsung menerima jawaban AI, tetapi menguji dan mengoreksinya. Misalnya, siswa diberi jawaban AI tentang pengaruh suhu terhadap kesetimbangan, lalu diminta menilai apakah penjelasan itu sesuai prinsip Le Chatelier. Siswa diberi prosedur praktikum buatan AI, lalu diminta mengidentifikasi risiko keselamatan. Siswa diberi soal buatan AI, lalu diminta memeriksa apakah kunci jawabannya benar. Dengan cara ini, AI menjadi objek berpikir kritis, bukan sumber jawaban pasif.

Strategi lain adalah **AI sebagai generator variasi**, bukan generator keputusan. Guru dapat menggunakan AI untuk menghasilkan beberapa alternatif analogi, soal, aktivitas, atau skenario masalah. Setelah itu, guru memilih, mengedit, dan menyusun ulang sesuai kebutuhan kelas. Misalnya, AI menghasilkan lima analogi untuk menjelaskan kesetimbangan dinamis. Guru memilih satu yang paling tepat, memperbaiki bagian yang berisiko, lalu menggunakannya sebagai pengantar diskusi. Dalam strategi ini, kreativitas AI digunakan sebagai sumber ide, tetapi keputusan pedagogis tetap berada pada guru.

AI juga dapat digunakan sebagai **alat untuk memperkuat inklusi**, tetapi tetap memerlukan sensitivitas manusia. AI dapat membantu membuat materi dengan bahasa yang lebih sederhana, menyediakan latihan tambahan, menerjemahkan istilah, atau membuat variasi media. Namun, guru yang memahami kondisi siswa tetap perlu menilai apakah bantuan tersebut sesuai. Peserta didik dengan kebutuhan tertentu, keterbatasan akses, atau latar belakang bahasa berbeda tidak dapat dipahami hanya melalui data digital. Guru tetap perlu melakukan pendekatan manusiawi, observasi, komunikasi, dan kolaborasi dengan pihak terkait.

Dalam konteks etika akademik, guru harus menjadikan AI sebagai kesempatan untuk membangun budaya kejujuran. Larangan total sering kali tidak efektif karena siswa dapat menggunakan AI di luar pengawasan. Sebaliknya, pembiaran total juga berbahaya. Pendekatan yang lebih baik adalah membuat kebijakan penggunaan AI yang jelas. Misalnya, AI boleh digunakan untuk mencari ide, meminta penjelasan, membuat latihan, atau memperbaiki bahasa. AI tidak boleh digunakan untuk menulis seluruh jawaban tugas tanpa pemahaman. Jika digunakan dalam tugas tertentu, siswa harus mencantumkan bentuk bantuan AI. Guru juga dapat merancang asesmen yang menuntut penjelasan lisan, analisis data nyata, refleksi proses, dan praktik langsung.

OECD menegaskan bahwa perkembangan AI yang semakin kuat menuntut pendidikan memikirkan ulang apa yang harus diajarkan guru dan dipelajari siswa. Dalam pembelajaran kimia, implikasinya jelas: siswa tidak cukup hanya menghafal definisi yang dapat dijawab AI. Mereka perlu menguasai kemampuan yang lebih tinggi, seperti menilai kebenaran jawaban, memahami data, menghubungkan representasi, merancang eksperimen, menyusun argumen ilmiah, dan mengambil keputusan etis. Guru tetap menjadi pihak yang merancang pengalaman belajar agar kemampuan tersebut berkembang.

AI sebagai alat bantu pedagogis juga harus ditempatkan dalam kerangka **human-centered AI**. Dalam kerangka ini, teknologi tidak menjadi pusat, melainkan manusia dan tujuan pendidikan yang menjadi pusat. Guru, siswa, dosen, mahasiswa, dan masyarakat adalah pihak yang harus diuntungkan oleh penggunaan AI. AI harus memperluas kesempatan belajar, meningkatkan kualitas umpan balik, memperkaya media, dan membantu guru bekerja lebih baik. Jika AI justru

membuat siswa pasif, guru kehilangan otoritas pedagogis, data siswa tidak aman, atau pembelajaran menjadi dangkal, maka penggunaannya perlu dievaluasi ulang.

Dalam pembelajaran kimia, human-centered AI juga berarti menjaga hubungan antara ilmu, teknologi, dan tanggung jawab sosial. Kimia memiliki dampak besar terhadap lingkungan, kesehatan, energi, pangan, industri, dan kehidupan. AI dapat membantu siswa memahami isu-isu tersebut, tetapi guru perlu memastikan bahwa pembelajaran tetap membangun kesadaran etis. Misalnya, ketika membahas polimer, AI dapat membantu menjelaskan struktur dan sifat bahan, tetapi guru perlu mengarahkan diskusi tentang sampah plastik dan keberlanjutan. Ketika membahas elektrokimia, AI dapat membantu menjelaskan baterai, tetapi guru perlu mengaitkan dengan energi terbarukan dan limbah baterai. AI membantu memperkaya konteks, tetapi guru membimbing nilai.

Dalam praktik kelas, posisi AI sebagai alat bantu pedagogis dapat dirumuskan dalam beberapa prinsip operasional. Pertama, **tujuan pembelajaran harus mendahului penggunaan AI**. Guru tidak memulai dari pertanyaan "AI apa yang akan digunakan?", tetapi "apa tujuan belajar yang ingin dicapai?" Kedua, **konten kimia harus divalidasi**. Semua keluaran AI perlu diperiksa. Ketiga, **AI harus mendorong proses berpikir**, bukan hanya menghasilkan jawaban. Keempat, **penggunaan AI harus transparan dan etis**. Kelima, **guru tetap menjadi pengambil keputusan pedagogis**. Keenam, **keselamatan laboratorium tidak boleh dikompromikan**. Ketujuh, **AI harus memperkuat pembelajaran manusiawi**, bukan menggantikannya.

Prinsip tersebut dapat diterapkan dalam desain pembelajaran. Misalnya, pada materi laju reaksi, guru menggunakan AI untuk membuat skenario masalah tentang pengawetan makanan. Siswa diminta menganalisis faktor suhu, luas permukaan, konsentrasi, dan katalis. AI digunakan untuk memberi contoh awal dan pertanyaan pemantik. Namun, siswa tetap melakukan eksperimen sederhana atau menganalisis data nyata. Guru memandu diskusi dan memperbaiki miskonsepsi. Pada akhir pembelajaran, siswa menulis refleksi tentang bagaimana AI membantu dan bagian mana yang harus diverifikasi. Dengan cara ini, AI menjadi bagian dari ekosistem belajar, bukan pusat tunggal pembelajaran.

Dalam pendidikan calon guru, dosen dapat menilai pemahaman mahasiswa tentang posisi AI melalui tugas reflektif. Mahasiswa dapat diminta menjawab pertanyaan: "Bagian mana dari pekerjaan guru kimia yang dapat dibantu AI?", "Bagian mana yang tidak boleh digantikan AI?", "Bagaimana memastikan keluaran AI benar secara kimia?", "Bagaimana mencegah ketergantungan siswa?", dan "Bagaimana membuat kebijakan penggunaan AI di kelas?" Jawaban mahasiswa terhadap pertanyaan ini menunjukkan apakah mereka memahami AI secara pedagogis atau hanya secara teknis.

Pada akhirnya, AI tidak menghapus kebutuhan terhadap guru. Justru AI membuat kebutuhan terhadap guru yang profesional semakin besar. Di tengah banjir informasi dan kemudahan produksi teks, peserta didik membutuhkan guru yang mampu membedakan informasi benar dan salah, membangun pertanyaan bermakna, mengarahkan diskusi, menegakkan etika, dan menjaga kualitas pembelajaran. Dalam pendidikan kimia, guru tetap menjadi penjaga akurasi konsep, keselamatan praktikum, integritas akademik, dan pembentukan sikap ilmiah. AI dapat membantu, tetapi tidak dapat memikul tanggung jawab tersebut.

Dengan demikian, AI dalam pembelajaran kimia harus dipahami sebagai alat bantu pedagogis yang memperkuat peran guru, bukan menggantikannya. AI dapat membantu perencanaan, bahan ajar, visualisasi, asesmen, diferensiasi, praktikum, refleksi, dan pengembangan profesional. Namun, guru tetap menjadi pusat keputusan pedagogis, validator ilmiah, pembimbing etika, fasilitator interaksi manusiawi, dan penanggung jawab keselamatan belajar. Pendidikan kimia berbasis AI yang baik bukan pendidikan yang menyerahkan kelas kepada mesin, tetapi pendidikan yang menggunakan mesin untuk memperkuat kemanusiaan, nalar ilmiah, dan tanggung jawab profesional guru.

Simpulan Bab 1

Bab 1 telah membahas konsep dasar kecerdasan buatan dalam pendidikan kimia. Pembahasan dimulai dari pengertian AI sebagai sistem komputasional berbasis data dan algoritma yang dapat membantu tugas-tugas tertentu yang biasanya memerlukan kecerdasan manusia. Dalam konteks pembelajaran kimia, AI tidak hanya dipahami sebagai teknologi umum, tetapi sebagai alat bantu untuk perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, dan pengembangan pembelajaran kimia.

Sejarah AI menunjukkan bahwa teknologi ini berkembang melalui perjalanan panjang, mulai dari gagasan logika dan komputasi, AI simbolik, sistem pakar, machine learning, deep learning, hingga generative AI. Perjalanan tersebut memperlihatkan bahwa AI selalu membawa peluang sekaligus keterbatasan. Dalam pendidikan kimia, perkembangan ini membuka kemungkinan baru untuk visualisasi konsep, personalisasi pembelajaran, analisis data, chatbot edukatif, sistem tutor cerdas, dan pengembangan bahan ajar.

Bab ini juga menjelaskan berbagai jenis AI, termasuk machine learning, deep learning, generative AI, Large Language Models, chatbot edukatif, sistem rekomendasi, tutor cerdas, dan pembelajaran adaptif. Masing-masing memiliki fungsi berbeda. Machine learning membantu analisis pola dan prediksi; deep learning memproses data kompleks; generative AI menghasilkan konten; LLM dan chatbot mendukung interaksi berbasis bahasa; sistem rekomendasi dan tutor cerdas membantu personalisasi serta scaffolding belajar.

Dalam transformasi pendidikan kimia, AI berperan memperkaya pembelajaran, tetapi tidak boleh menggantikan hakikat pendidikan kimia sebagai proses ilmiah, eksperimental, representasional, dan manusiawi. AI dapat membantu guru membuat bahan ajar, LKPD, media, soal, rubrik, visualisasi, simulasi, praktikum virtual, dan asesmen. Namun, semua keluaran AI harus divalidasi karena AI dapat menghasilkan halusinasi, bias, kesalahan konsep, atau rekomendasi yang tidak sesuai konteks.

Bab ini juga menegaskan pentingnya literasi AI sebagai kompetensi baru pendidik kimia. Literasi AI mencakup pemahaman konsep AI, keterampilan prompt engineering, validasi konten, literasi data, etika akademik, keamanan data, kemampuan pedagogis, dan kesadaran terhadap batas teknologi. Guru dan calon guru kimia perlu menjadi pengguna AI yang kritis-produktif: mampu memanfaatkan peluang AI, tetapi tetap menjaga akurasi kimia, keselamatan, integritas akademik, dan nilai kemanusiaan.

Kesimpulan utama Bab 1 adalah bahwa AI harus ditempatkan sebagai **alat bantu pedagogis, bukan pengganti guru**. AI dapat memperkuat kerja guru, tetapi guru tetap menjadi pengarah utama pembelajaran, validator konsep, penjaga keselamatan, pembimbing etika, dan fasilitator perkembangan peserta didik. Pendidikan kimia berbasis AI yang baik bukanlah pendidikan yang tunduk pada teknologi, melainkan pendidikan yang menggunakan teknologi untuk memperdalam pemahaman ilmiah, memperkaya pengalaman belajar, dan memperkuat tanggung jawab profesional pendidik.

Daftar Pustaka Bab 1

Denny, P., Gulwani, S., Heffernan, N. T., Käser, T., Moore, S., Rafferty, A. N., & Singla, A. (2024). *Generative AI for education (GAIED): Advances, opportunities, and challenges*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2402.01580

Huwer, J., Seibert, J., Thyssen, C., & Schreiber, M. (2024). Artificial intelligence in chemistry education: A systematic review and future perspectives. *International Journal of Physics and Chemistry Education*. https://ijpce.org/index.php/IJPCE/article/view/403

Łodzikowski, K., Foltz, P. W., & Behrens, J. T. (2023). *Generative AI and its educational implications*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2401.08659

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (1955). *A proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*. Stanford University. https://jmc.stanford.edu/articles/dartmouth/dartmouth.pdf

OECD. (2025). *What should teachers teach and students learn in a future of powerful AI?* OECD Education Spotlights, No. 20. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/ca56c7d6-en

Sharples, M. (2023). *Towards social generative AI for education: Theory, practices and ethics*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2306.10063

Tassoti, S. (2024). Assessment of students' use of generative artificial intelligence: Prompting strategies of chemistry teacher candidates. *Journal of Chemical Education*. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00212

Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind, 59*(236), 433–460. https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433

UNESCO. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO. https://www.unesco.org/en/articles/guidance-generative-ai-education-and-research

UNESCO. (2024). *AI competency framework for teachers*. UNESCO. https://www.unesco.org/en/articles/ai-competency-framework-teachers

Yuriev, E. (2025). Generative AI in chemistry education: Current progress and future directions. *Journal of Chemical Education*. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c01105

BAB 2

Karakteristik Pembelajaran Kimia dan Kebutuhan Teknologi AI

2.1 Hakikat Ilmu Kimia sebagai Ilmu tentang Materi dan Perubahannya

Kimia pada hakikatnya adalah ilmu yang mempelajari materi, struktur materi, sifat materi, perubahan materi, energi yang menyertai perubahan materi, serta interaksi antarpartikel penyusun materi. Dalam pengertian yang lebih luas, kimia tidak hanya membahas zat sebagaimana terlihat oleh indra, tetapi juga menjelaskan mengapa zat memiliki sifat tertentu, bagaimana zat berubah menjadi zat lain, bagaimana partikel berinteraksi, dan bagaimana perubahan tersebut dapat dimodelkan, dihitung, divisualisasikan, serta dimanfaatkan dalam kehidupan. Oleh sebab itu, kimia merupakan ilmu yang sekaligus bersifat empiris, teoretis, simbolik, matematis, eksperimental, dan representasional.

Sebagai ilmu empiris, kimia berangkat dari pengamatan terhadap fenomena nyata. Perubahan warna larutan, terbentuknya endapan, munculnya gas, perubahan suhu, pembakaran, pengaratan logam, pelarutan garam, netralisasi asam-basa, serta perubahan wujud zat adalah contoh fenomena kimia yang dapat diamati secara makroskopik. Namun, kimia tidak berhenti pada apa yang tampak. Kimia berusaha menjelaskan fenomena tersebut melalui partikel yang tidak terlihat langsung oleh mata, seperti atom, ion, molekul, elektron, orbital, ikatan, gaya antarmolekul, dan susunan partikel dalam sistem. Di sinilah letak kekhasan kimia: ia menghubungkan fenomena yang terlihat dengan struktur dan proses yang tidak terlihat.

File deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia* menegaskan bahwa pembelajaran kimia memiliki karakteristik khusus karena melibatkan tiga level representasi, yaitu makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Banyak konsep kimia seperti struktur atom, ikatan kimia, bentuk molekul, kesetimbangan, termodinamika, kinetika reaksi, elektrokimia, kimia organik, dan kimia komputasi memerlukan visualisasi, pemodelan, simulasi, serta penalaran abstrak. Dengan demikian, hakikat kimia sebagai ilmu tentang materi dan perubahannya tidak dapat dipahami hanya melalui hafalan definisi, tetapi harus melalui kemampuan menghubungkan fenomena nyata, model partikel, dan bahasa simbolik kimia.

Karakter pertama kimia adalah bahwa kimia mempelajari **materi**. Materi mencakup segala sesuatu yang memiliki massa dan menempati ruang. Dalam pembelajaran kimia, materi dapat dibahas dari berbagai tingkat: unsur, senyawa, campuran, atom, ion, molekul, kristal, polimer, larutan, gas, logam, biomolekul, dan material modern. Setiap jenis materi memiliki struktur dan sifat tertentu. Air memiliki titik didih, kalor jenis, polaritas, dan kemampuan membentuk ikatan hidrogen. Natrium klorida memiliki struktur ionik dan titik leleh tinggi. Etanol memiliki gugus hidroksil yang memengaruhi kelarutan dan titik didih. Polimer memiliki struktur rantai panjang yang memengaruhi fleksibilitas dan kekuatan bahan. Dengan demikian, kimia membantu peserta didik memahami bahwa sifat zat tidak muncul secara kebetulan, tetapi terkait dengan struktur dan interaksi partikel penyusunnya.

Karakter kedua adalah bahwa kimia mempelajari **struktur materi**. Struktur dalam kimia dapat berarti susunan atom dalam molekul, susunan ion dalam kristal, konfigurasi elektron dalam atom, geometri molekul, orientasi gugus fungsi, atau organisasi makromolekul. Struktur menentukan sifat. Perbedaan struktur karbon dalam grafit dan intan menghasilkan sifat yang sangat berbeda. Perbedaan susunan atom dalam isomer senyawa organik dapat menghasilkan perbedaan titik didih, kelarutan, reaktivitas, bahkan aktivitas biologis. Dalam pembelajaran, hubungan struktur-sifat ini sering sulit dipahami peserta didik karena struktur kimia berada pada level submikroskopik dan tidak dapat diamati langsung.

Karakter ketiga adalah bahwa kimia mempelajari **sifat materi**. Sifat materi dapat berupa sifat fisika dan sifat kimia. Sifat fisika meliputi warna, bau, massa jenis, titik leleh, titik didih, kelarutan, konduktivitas, viskositas, dan wujud zat. Sifat kimia meliputi kemampuan bereaksi, mudah terbakar, korosif, keasaman, kebasaan, oksidator, reduktor, dan kestabilan. Pembelajaran kimia perlu membantu peserta didik memahami bahwa sifat materi memiliki dasar partikel dan interaksi. Misalnya, titik didih suatu zat berkaitan dengan gaya antarmolekul. Konduktivitas larutan elektrolit berkaitan dengan keberadaan ion bebas. Kelarutan garam dalam air berkaitan dengan interaksi ion-dipol, energi kisi, dan energi hidrasi. Jika siswa hanya menghafal daftar sifat tanpa memahami penyebabnya, pembelajaran kimia menjadi dangkal.

Karakter keempat adalah bahwa kimia mempelajari **perubahan materi**. Perubahan materi dapat berupa perubahan fisika atau perubahan kimia. Perubahan fisika tidak menghasilkan zat baru, misalnya mencair, membeku, menguap, menyublim, atau melarut. Perubahan kimia menghasilkan zat baru melalui reaksi kimia, seperti pembakaran, korosi, netralisasi, pengendapan, fermentasi, oksidasi-reduksi, polimerisasi, dan dekomposisi. Dalam kimia, perubahan materi dijelaskan melalui pemutusan dan pembentukan ikatan, perubahan susunan atom, perubahan energi, serta perubahan keadaan sistem. Oleh sebab itu, memahami perubahan kimia menuntut kemampuan berpikir lintas level: apa yang tampak, apa yang terjadi pada partikel, dan bagaimana menuliskannya dalam persamaan reaksi.

Karakter kelima adalah bahwa kimia mempelajari **energi yang menyertai perubahan materi**. Banyak reaksi kimia melibatkan penyerapan atau pelepasan energi. Termokimia membahas kalor reaksi, entalpi, reaksi eksoterm, reaksi endoterm, hukum Hess, energi ikatan, dan hubungan energi dengan kestabilan zat. Kinetika reaksi membahas energi aktivasi, laju reaksi, frekuensi tumbukan, orientasi tumbukan, katalis, dan mekanisme reaksi. Termodinamika membahas kecenderungan perubahan melalui entalpi, entropi, dan energi bebas. Dengan demikian, kimia tidak hanya bertanya “zat apa yang terbentuk?”, tetapi juga “berapa energi yang terlibat?”, “mengapa reaksi berlangsung?”, “seberapa cepat reaksi berlangsung?”, dan “dalam kondisi apa reaksi menjadi mungkin?”

Karakter keenam adalah bahwa kimia menggunakan **bahasa simbolik** yang sangat khas. Kimia memiliki simbol unsur, rumus kimia, persamaan reaksi, tanda panah reaksi, koefisien, indeks, muatan ion, bilangan oksidasi, struktur Lewis, model garis-ikatan, notasi orbital, persamaan laju, tetapan kesetimbangan, dan berbagai bentuk representasi matematis. Bahasa simbolik ini sangat efisien bagi ahli kimia, tetapi dapat menjadi sumber kesulitan bagi peserta didik. Misalnya, angka kecil di bawah pada H_2O menunjukkan jumlah atom dalam molekul, sedangkan angka besar di

depan $2H_2O$ menunjukkan jumlah molekul atau mol relatif. Bagi siswa pemula, perbedaan ini tidak selalu mudah. Kesalahan membaca simbol dapat menghasilkan kesalahan konsep yang serius.

Karakter ketujuh adalah bahwa kimia bersifat **kuantitatif**. Banyak konsep kimia memerlukan perhitungan, seperti mol, massa molar, komposisi persen, stoikiometri, konsentrasi larutan, pH, tetapan kesetimbangan, laju reaksi, energi reaksi, potensial sel, dan rendemen reaksi. Namun, perhitungan dalam kimia tidak boleh dipahami sebagai matematika kosong. Angka dalam kimia selalu mewakili zat, partikel, energi, volume, konsentrasi, atau perubahan sistem. Kesulitan siswa sering muncul karena mereka memisahkan perhitungan dari makna kimianya. Mereka dapat menghafal rumus, tetapi tidak memahami apa yang dihitung. Pembelajaran kimia yang baik harus menghubungkan prosedur matematis dengan fenomena dan konsep.

Karakter kedelapan adalah bahwa kimia bersifat **eksperimental**. Ilmu kimia berkembang melalui pengamatan, pengukuran, percobaan, pengujian hipotesis, pengendalian variabel, dan interpretasi data. Praktikum bukan sekadar kegiatan tambahan, tetapi bagian dari hakikat kimia sebagai ilmu. Melalui praktikum, siswa belajar bahwa konsep kimia tidak hanya tertulis dalam buku, tetapi dapat diuji melalui pengalaman empiris. Mereka belajar mengamati perubahan, menggunakan alat, membaca skala, mencatat data, mengenali kesalahan, dan menarik kesimpulan. Namun, praktikum kimia juga menuntut keselamatan, ketelitian, dan pemahaman prosedur. AI dapat membantu persiapan dan analisis praktikum, tetapi tidak boleh menghilangkan pentingnya pengalaman empiris.

Karakter kesembilan adalah bahwa kimia bersifat **model-based science** atau ilmu yang banyak menggunakan model. Atom, molekul, ikatan, orbital, mekanisme reaksi, struktur kristal, dan keadaan transisi adalah model untuk menjelaskan realitas yang tidak sepenuhnya terlihat langsung. Model dalam kimia bukan realitas itu sendiri, tetapi alat konseptual untuk memahami, memprediksi, dan menjelaskan fenomena. Misalnya, model Bohr membantu menjelaskan spektrum atom hidrogen, tetapi tidak cukup untuk memahami atom multielektron secara modern. Model Lewis membantu memahami ikatan kovalen, tetapi tidak cukup menjelaskan delokalisasi elektron secara lengkap. Pembelajaran kimia harus membantu siswa memahami fungsi dan batas model agar tidak menganggap model sederhana sebagai gambaran literal mutlak.

Karakter kesepuluh adalah bahwa kimia bersifat **multirepresentasional**. Johnstone dikenal luas dalam pendidikan kimia karena menjelaskan bahwa pembelajaran kimia melibatkan hubungan antara level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Kajian Gilbert dan Treagust juga menegaskan bahwa representasi makro, submikro, dan simbolik merupakan model kunci dalam pendidikan kimia dan menjadi dasar penting untuk memahami kesulitan belajar kimia. Model ini membantu menjelaskan mengapa kimia sering dianggap sulit: peserta didik harus berpindah dari pengamatan konkret ke penjelasan partikel yang abstrak, lalu menuliskannya dalam simbol dan persamaan.

Contoh sederhana dapat dilihat pada reaksi antara larutan perak nitrat dan larutan natrium klorida. Secara makroskopik, siswa melihat terbentuknya endapan putih. Secara submikroskopik, ion Ag^+ bertemu dengan ion Cl^- dalam larutan dan membentuk padatan AgCl yang sukar larut. Secara simbolik, proses itu dapat ditulis sebagai persamaan reaksi, persamaan ion lengkap, dan persamaan ion bersih. Jika pembelajaran hanya berhenti pada “terbentuk endapan putih”, siswa memahami

fenomena secara permukaan. Jika hanya menuliskan $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl$ tanpa menghubungkannya dengan pengamatan, siswa memahami simbol tanpa pengalaman. Pembelajaran kimia yang baik harus menghubungkan ketiganya.

Hakikat kimia sebagai ilmu tentang materi dan perubahannya juga membuat pembelajaran kimia sering menghadapi tantangan miskonsepsi. Miskonsepsi muncul ketika peserta didik membangun pemahaman yang tidak sesuai dengan konsep ilmiah, tetapi mereka meyakininya sebagai benar. Literatur pendidikan kimia mencatat banyak miskonsepsi pada topik-topik abstrak dan kompleks, seperti ikatan kovalen, ikatan ionik, ikatan hidrogen, geometri molekul, kesetimbangan kimia, kelarutan, elektrolisis, dan baterai. Miskonsepsi ini sering sulit diatasi karena siswa tidak hanya kurang tahu, tetapi memiliki kerangka pikir alternatif yang tampak masuk akal bagi mereka.

Sebagai contoh, banyak siswa menganggap bahwa asam kuat berarti asam dengan konsentrasi tinggi, padahal kekuatan asam berkaitan dengan derajat ionisasi, sedangkan konsentrasi berkaitan dengan jumlah zat terlarut per volume larutan. Ada siswa yang mengira katalis menggeser posisi kesetimbangan, padahal katalis mempercepat tercapainya kesetimbangan tanpa mengubah nilai tetapan kesetimbangan. Ada siswa yang menyangka ikatan ionik terjadi karena satu molekul sederhana "memiliki" satu ikatan seperti ikatan kovalen, padahal dalam padatan ionik terdapat kisi ionik yang luas. Kesalahan-kesalahan semacam ini menunjukkan bahwa pembelajaran kimia memerlukan strategi khusus untuk mengungkap dan memperbaiki pemahaman siswa.

Dalam konteks ini, AI memiliki peluang penting. Karena kimia menuntut hubungan antara fenomena, model, simbol, dan perhitungan, AI dapat membantu menyediakan penjelasan bertahap, visualisasi, simulasi, pertanyaan diagnostik, serta umpan balik personal. File deskripsi mata kuliah menyebut bahwa AI dapat digunakan untuk memperjelas konsep, menghasilkan bahan ajar adaptif, membuat simulasi interaktif, mengembangkan asesmen berbasis data, memberikan umpan balik otomatis, serta mendukung pembelajaran yang lebih personal, bermakna, reflektif, dan menyenangkan. Namun, peluang tersebut hanya bermakna jika AI digunakan berdasarkan pemahaman yang tepat tentang hakikat kimia.

AI dapat membantu menjelaskan materi kimia dari berbagai tingkat representasi. Misalnya, guru dapat meminta AI menjelaskan reaksi netralisasi pada tiga level: makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. AI dapat membantu membuat tabel perbandingan antara yang diamati, yang terjadi pada partikel, dan persamaan reaksinya. AI juga dapat membantu membuat pertanyaan diagnostik untuk mengetahui apakah siswa memahami perbedaan antara asam kuat, asam pekat, asam lemah, dan larutan encer. Dengan demikian, AI dapat menjadi alat bantu untuk menghubungkan representasi yang selama ini menjadi sumber kesulitan belajar.

AI juga dapat membantu guru membuat variasi analogi, tetapi analogi dalam kimia harus digunakan hati-hati. Misalnya, analogi ikatan kimia sebagai "berbagi" dapat membantu siswa memahami ikatan kovalen, tetapi dapat menyesatkan jika siswa menganggap atom memiliki niat seperti manusia. Analogi kesetimbangan sebagai "dua orang berjalan berlawanan arah dengan kecepatan sama" dapat membantu memahami keadaan dinamis, tetapi tetap perlu dijelaskan bahwa reaksi kimia melibatkan partikel dan energi, bukan agen sadar. AI dapat menghasilkan banyak analogi, tetapi guru harus memilih dan membatasi analogi agar tidak menjadi sumber miskonsepsi.

AI juga dapat membantu dalam pembelajaran berbasis data. Kimia sebagai ilmu empiris menghasilkan data eksperimen: massa, volume, suhu, waktu, pH, absorbansi, konsentrasi, tekanan, potensial, dan sebagainya. AI atau perangkat digital berbantuan AI dapat membantu siswa membuat grafik, mengenali tren, menganalisis hubungan variabel, atau menyusun interpretasi awal. Namun, siswa tetap perlu memahami bagaimana data diperoleh dan apa keterbatasannya. Data praktikum tidak boleh diperlakukan sebagai angka terpisah dari prosedur. Kesalahan membaca buret, ketidaktepatan menimbang, kontaminasi alat, atau perubahan suhu dapat memengaruhi hasil. AI dapat membantu analisis, tetapi penalaran eksperimen tetap harus dibangun.

Dalam pembelajaran kimia modern, hakikat kimia juga semakin terkait dengan kimia komputasi dan pemodelan digital. Struktur molekul, energi ikatan, orbital, spektrum, dinamika molekul, dan prediksi sifat material dapat dipelajari melalui perangkat komputasi. AI memperluas kemungkinan ini dengan membantu pemodelan, prediksi, pengenalan pola, dan visualisasi. Namun, untuk pendidikan kimia, penggunaan teknologi komputasi harus disesuaikan dengan jenjang dan tujuan. Pada tingkat sekolah, AI dapat digunakan untuk memperjelas konsep; pada tingkat perguruan tinggi, AI dapat mulai dikenalkan sebagai bagian dari kimia komputasi edukatif.

Hakikat kimia sebagai ilmu tentang materi dan perubahannya juga memiliki dimensi sosial. Kimia hadir dalam kehidupan sehari-hari: makanan, obat, kosmetik, energi, lingkungan, pertanian, industri, material, air bersih, polusi, dan kesehatan. Karena itu, pembelajaran kimia tidak boleh hanya berisi rumus dan reaksi, tetapi perlu menghubungkan konsep dengan konteks kehidupan. AI dapat membantu guru membuat skenario pembelajaran kontekstual, misalnya pencemaran air oleh ion logam berat, korosi pada infrastruktur, penggunaan elektrolit dalam baterai, polimer ramah lingkungan, atau analisis asam-basa pada produk rumah tangga. Namun, konteks yang dihasilkan AI harus diverifikasi agar tidak menyajikan data atau klaim yang tidak akurat.

Kimia juga memiliki dimensi etis karena pengetahuan kimia dapat digunakan untuk kebaikan maupun menimbulkan risiko. Penggunaan bahan kimia harus memperhatikan keselamatan, kesehatan, lingkungan, dan tanggung jawab sosial. Dalam pembelajaran, hal ini berarti guru harus membimbing siswa memahami bukan hanya “bagaimana reaksi terjadi”, tetapi juga “apa dampaknya” dan “bagaimana menggunakannya secara bertanggung jawab”. AI dapat membantu menyusun diskusi etis, tetapi guru tetap perlu mengarahkan nilai, konteks, dan refleksi.

Jika dikaitkan dengan kebutuhan teknologi AI, hakikat kimia menunjukkan bahwa AI diperlukan bukan karena kimia dapat disederhanakan oleh mesin, melainkan karena kimia memiliki kompleksitas representasi yang dapat dibantu oleh teknologi. AI dapat membantu menampilkan banyak bentuk representasi, memberikan latihan personal, menganalisis miskonsepsi, membuat bahan ajar adaptif, dan memperkaya praktikum virtual. Kajian sistematis tentang AI dalam sains dan pendidikan kimia menunjukkan bahwa aplikasi AI dapat memberikan kontribusi terhadap hasil belajar, pembelajaran daring, dan pembelajaran laboratorium, meskipun penerapan khusus dalam kimia dan STEM masih lebih terbatas dibanding penggunaan AI secara umum dalam pendidikan sains.

Namun, AI tidak mengubah hakikat dasar kimia. Kimia tetap ilmu yang menuntut validasi empiris, ketepatan konsep, representasi yang benar, dan penalaran ilmiah. AI tidak boleh membuat

pembelajaran kimia berubah menjadi sekadar percakapan dengan mesin atau produksi teks otomatis. AI harus membantu siswa memahami materi dan perubahannya secara lebih baik. Jika AI hanya membuat siswa menyalin jawaban, maka AI bertentangan dengan hakikat pembelajaran kimia. Jika AI membantu siswa menghubungkan fenomena, partikel, simbol, data, dan konteks, maka AI sejalan dengan hakikat kimia.

Implikasi pedagogis dari hakikat kimia adalah bahwa guru perlu merancang pembelajaran yang mengintegrasikan pengamatan, model, simbol, data, dan refleksi. Pembelajaran kimia tidak cukup hanya menjelaskan definisi. Guru perlu menghadirkan fenomena, mengajak siswa bertanya, membangun model partikel, menuliskan simbol, melakukan perhitungan, menafsirkan data, dan menghubungkannya dengan kehidupan. AI dapat masuk pada setiap tahap sebagai alat bantu, tetapi tidak boleh menggantikan struktur berpikir ilmiah tersebut.

Dalam kerangka mata kuliah ini, pemahaman terhadap hakikat kimia menjadi fondasi sebelum membahas AI lebih lanjut. Mahasiswa calon guru kimia perlu memahami bahwa teknologi AI harus tunduk pada karakter ilmu kimia. Ketika menggunakan AI untuk membuat bahan ajar, mereka harus memeriksa apakah materi menghubungkan level representasi. Ketika menggunakan AI untuk membuat soal, mereka harus memastikan soal tidak hanya menguji hafalan. Ketika menggunakan AI untuk membuat praktikum, mereka harus memperhatikan keselamatan. Ketika menggunakan AI untuk visualisasi, mereka harus menilai akurasi model. Ketika menggunakan AI untuk asesmen, mereka harus memeriksa validitas dan keadilan.

Dengan demikian, hakikat kimia sebagai ilmu tentang materi dan perubahannya menuntut pembelajaran yang kaya representasi, berbasis eksperimen, valid secara ilmiah, kontekstual, dan reflektif. AI dapat menjadi teknologi pendukung yang sangat berguna karena mampu membantu visualisasi, personalisasi, simulasi, analisis, pengembangan bahan ajar, dan umpan balik. Akan tetapi, AI hanya akan bermakna jika digunakan oleh pendidik yang memahami hakikat kimia itu sendiri. Tanpa pemahaman kimia yang kuat, AI dapat mempercepat produksi materi tetapi sekaligus mempercepat penyebaran miskonsepsi.

Subbab berikutnya akan membahas **karakter abstrak dalam konsep-konsep kimia**. Pembahasan tersebut penting karena salah satu alasan utama pembelajaran kimia membutuhkan dukungan teknologi, termasuk AI, adalah banyaknya konsep kimia yang tidak dapat diamati langsung dan memerlukan kemampuan membayangkan struktur, partikel, energi, serta proses yang berlangsung pada level submikroskopik.

2.2 Karakter Abstrak dalam Konsep-Konsep Kimia

Salah satu penyebab utama kimia sering dianggap sulit oleh peserta didik adalah karakter konsepnya yang sangat abstrak. Banyak konsep kimia tidak dapat diamati secara langsung, tetapi harus dipahami melalui model, simbol, representasi partikel, penalaran matematis, dan hubungan antarkonsep. Peserta didik dapat melihat perubahan warna, terbentuknya endapan, munculnya gas, atau perubahan suhu, tetapi mereka tidak dapat melihat langsung atom, ion, molekul, elektron, orbital, ikatan kimia, tumbukan efektif, keadaan transisi, atau pergeseran kesetimbangan. Akibatnya, pembelajaran kimia menuntut kemampuan berpikir abstrak yang tinggi.

Karakter abstrak ini ditegaskan dalam deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia*. Dokumen tersebut menyebutkan bahwa banyak konsep kimia seperti struktur atom, ikatan kimia, bentuk molekul, kesetimbangan, termodinamika, kinetika reaksi, elektrokimia, kimia organik, serta kimia komputasi memerlukan visualisasi, pemodelan, simulasi, dan penalaran abstrak. Pernyataan ini menjadi dasar penting bagi pembahasan buku ini: AI dibutuhkan dalam pembelajaran kimia bukan karena peserta didik malas berpikir, melainkan karena kimia memang memiliki struktur pengetahuan yang kompleks dan banyak konsepnya berada di luar jangkauan pengamatan langsung.

Abstraksi dalam kimia muncul karena kimia berusaha menjelaskan fenomena materi melalui entitas yang tidak tampak oleh indra. Ketika garam dapur larut dalam air, peserta didik dapat melihat bahwa kristal garam menghilang. Namun, pemahaman kimia yang benar menuntut mereka membayangkan bahwa kisi ionik NaCl terurai menjadi ion Na^+ dan Cl^- yang kemudian dikelilingi oleh molekul air melalui interaksi ion-dipol. Ketika logam berkarat, peserta didik dapat melihat perubahan warna dan rapuhnya permukaan logam. Namun, pemahaman kimia menuntut mereka memahami proses oksidasi besi, reduksi oksigen, peran air, pembentukan oksida besi terhidrasi, dan proses elektrokimia mikro pada permukaan logam.

Abstraksi juga muncul karena kimia menggunakan model yang tidak selalu dapat dipahami secara intuitif. Atom sering digambarkan sebagai bola kecil, padahal model atom modern jauh lebih kompleks. Elektron tidak bergerak mengelilingi inti seperti planet mengelilingi matahari dalam pengertian klasik, tetapi dijelaskan melalui orbital sebagai daerah probabilitas keberadaan elektron. Ikatan kimia sering digambarkan sebagai garis antara dua atom, padahal garis tersebut merupakan representasi sederhana dari interaksi elektron dan inti atom. Molekul sering digambar dalam dua dimensi, padahal bentuk molekul bersifat tiga dimensi. Semua ini menunjukkan bahwa representasi kimia adalah model konseptual, bukan salinan langsung dari realitas.

Bagi ahli kimia, model-model tersebut menjadi alat berpikir yang efisien. Akan tetapi, bagi peserta didik, model dapat menjadi sumber kebingungan. Peserta didik sering kali menganggap model sebagai realitas literal. Jika atom digambarkan sebagai bola keras, mereka dapat mengira atom benar-benar berupa bola padat kecil. Jika ikatan kovalen digambarkan sebagai garis, mereka dapat mengira ada batang kecil yang menghubungkan atom. Jika reaksi kimia ditulis dengan tanda panah tunggal, mereka dapat mengira semua reaksi hanya berjalan satu arah. Jika kesetimbangan ditulis dengan panah bolak-balik, mereka dapat menghafalnya tanpa memahami bahwa pada tingkat partikel terjadi proses dinamis yang terus berlangsung.

Karakter abstrak konsep kimia juga tampak dalam topik **struktur atom**. Struktur atom merupakan salah satu konsep dasar, tetapi sangat sulit karena tidak dapat diamati secara langsung oleh peserta didik. Mereka harus memahami inti atom, proton, neutron, elektron, nomor atom, nomor massa, isotop, konfigurasi elektron, kulit, subkulit, orbital, bilangan kuantum, dan kecenderungan periodik. Kesulitan muncul karena sebagian konsep tersebut tidak memiliki padanan konkret dalam pengalaman sehari-hari. Elektron tidak dapat dibayangkan seperti benda biasa. Orbital bukan lintasan tetap. Probabilitas keberadaan elektron bukan lokasi pasti. Akibatnya, peserta didik sering membangun gambaran mental yang bercampur antara model Bohr, model mekanika kuantum, dan ilustrasi populer yang disederhanakan.

Pada topik **ikatan kimia**, abstraksi menjadi lebih kompleks. Peserta didik harus memahami bahwa ikatan kimia berkaitan dengan kestabilan energi, konfigurasi elektron, gaya elektrostatik, pemakaian bersama elektron, transfer elektron, delokalisasi elektron, polaritas, dan bentuk molekul. Ikatan ionik, kovalen, logam, koordinasi, hidrogen, serta gaya antarmolekul sering diajarkan melalui gambar dan rumus, tetapi makna partikel di baliknya tidak selalu dipahami. Banyak siswa menghafal bahwa NaCl adalah ikatan ionik dan H_2O adalah ikatan kovalen, tetapi tidak memahami mengapa sifat kedua zat sangat berbeda. Mereka juga dapat mencampuradukkan ikatan intramolekul dengan gaya antarmolekul.

Topik **geometri molekul** juga sangat abstrak karena menuntut kemampuan spasial. Peserta didik harus membayangkan susunan atom dalam ruang tiga dimensi, pasangan elektron bebas, pasangan elektron ikatan, tolakan pasangan elektron, sudut ikatan, bentuk molekul, dan polaritas molekul. Masalahnya, buku teks sering menyajikan gambar dua dimensi. Struktur CH_4, NH_3, dan H_2O dapat terlihat mirip jika hanya digambar datar, padahal geometri dan sudut ikatannya berbeda. Tanpa model molekul, simulasi, atau visualisasi 3D, peserta didik dapat kesulitan membangun gambaran ruang yang akurat.

Pada topik **kesetimbangan kimia**, abstraksi muncul karena peserta didik harus memahami konsep dinamis yang tidak tampak secara langsung. Pada keadaan setimbang, konsentrasi zat tampak tidak berubah secara makroskopik. Namun, pada tingkat partikel, reaksi maju dan reaksi balik tetap berlangsung dengan laju yang sama. Banyak peserta didik memahami kesetimbangan sebagai keadaan "reaksi berhenti", padahal yang terjadi adalah keseimbangan dinamis. Mereka juga sering kesulitan membedakan antara laju reaksi, jumlah zat, konsentrasi, tetapan kesetimbangan, dan pergeseran kesetimbangan.

Pada topik **termodinamika dan termokimia**, konsep abstrak muncul dalam bentuk energi, entalpi, entropi, energi bebas, sistem, lingkungan, dan spontanitas. Peserta didik dapat merasakan panas atau dingin, tetapi tidak mudah memahami hubungan antara energi pada tingkat partikel dan perubahan makroskopik. Mereka sering menghafal reaksi eksoterm dan endoterm, tetapi kesulitan menjelaskan mengapa tanda ΔH negatif atau positif. Lebih jauh lagi, konsep entropi sering disalahpahami sebagai sekadar "ketidakteraturan", padahal dalam konteks termodinamika maknanya lebih kompleks dan berkaitan dengan jumlah kemungkinan mikrostate serta penyebaran energi.

Pada topik **kinetika reaksi**, peserta didik harus memahami laju reaksi, energi aktivasi, frekuensi tumbukan, orientasi tumbukan, mekanisme reaksi, tahap penentu laju, dan peran katalis. Fenomena makroskopik seperti reaksi lebih cepat pada suhu tinggi dapat diamati, tetapi penjelasan submikroskopiknya membutuhkan bayangan tentang partikel yang bergerak, bertumbukan, memiliki energi berbeda, dan membentuk keadaan transisi. Peserta didik sering salah memahami katalis sebagai zat yang "menambah energi" atau "menggeser kesetimbangan", padahal katalis menyediakan jalur reaksi alternatif dengan energi aktivasi lebih rendah dan tidak mengubah posisi kesetimbangan.

Pada topik **elektrokimia**, abstraksi semakin tinggi karena melibatkan transfer elektron, reaksi oksidasi-reduksi, potensial elektroda, jembatan garam, anode, katode, arah aliran elektron, arah migrasi ion, dan hubungan antara reaksi kimia dengan energi listrik. Peserta didik dapat melihat

lampu menyala pada rangkaian sel volta atau terbentuknya lapisan logam dalam elektrolisis, tetapi proses partikel di baliknya sulit dipahami. Banyak siswa tertukar antara anode dan katode, antara sel volta dan sel elektrolisis, serta antara arah elektron dan arah arus konvensional. Kesulitan ini menunjukkan bahwa elektrokimia membutuhkan representasi yang sangat jelas dan bertahap.

Pada topik **kimia organik**, abstraksi tampak dalam struktur, isomer, gugus fungsi, mekanisme reaksi, stereokimia, dan pergerakan elektron. Peserta didik harus memahami bahwa rumus molekul yang sama dapat memiliki struktur berbeda, dan struktur berbeda dapat menghasilkan sifat serta reaktivitas berbeda. Mereka juga harus memahami panah mekanisme sebagai representasi perpindahan pasangan elektron, bukan perpindahan atom secara sembarangan. Stereokimia menuntut kemampuan membayangkan orientasi ruang, pusat kiral, konfigurasi R/S, isomer cis-trans, dan enansiomer. Tanpa visualisasi yang baik, kimia organik mudah berubah menjadi hafalan reaksi.

Karakter abstrak konsep kimia juga berkaitan dengan **skala**. Kimia bergerak dari skala atomik yang sangat kecil hingga skala makroskopik yang dapat diamati. Peserta didik harus memahami bahwa jumlah partikel dalam satu mol sangat besar, bahwa molekul berukuran sangat kecil, bahwa energi per mol adalah agregasi dari banyak partikel, dan bahwa perubahan kecil pada struktur molekul dapat berdampak besar pada sifat makroskopik. Skala ini sulit dibayangkan karena jauh dari pengalaman sehari-hari. Bilangan Avogadro, misalnya, sering dihafal sebagai $6{,}022 \times 10^{23}$, tetapi makna besarnya jumlah partikel itu jarang benar-benar dipahami.

Selain skala ruang, kimia juga melibatkan **skala waktu** yang kompleks. Beberapa reaksi berlangsung sangat cepat, seperti reaksi ionik dalam larutan. Beberapa berlangsung lambat, seperti korosi atau dekomposisi tertentu. Pada tingkat molekuler, tumbukan dan getaran terjadi dalam rentang waktu yang sangat kecil. Peserta didik tidak dapat mengamati langsung dinamika ini. Akibatnya, mereka sering memahami reaksi hanya sebagai peristiwa sebelum dan sesudah, bukan sebagai proses dinamis yang memiliki mekanisme, energi aktivasi, dan jalur reaksi.

Abstraksi kimia juga diperkuat oleh penggunaan **matematika**. Konsep kimia sering dinyatakan dalam persamaan matematis, seperti konsentrasi, pH, laju reaksi, tetapan kesetimbangan, energi bebas, hukum gas, dan potensial sel. Bagi sebagian peserta didik, kesulitan kimia bercampur dengan kecemasan matematika. Mereka mungkin dapat memahami konsep secara verbal, tetapi kesulitan ketika harus menerapkannya dalam perhitungan. Sebaliknya, ada siswa yang mampu menghitung tetapi tidak memahami makna kimia di balik angka. Karena itu, guru perlu memastikan bahwa matematika dalam kimia tidak menjadi prosedur mekanis yang terpisah dari konsep.

Dari sisi psikologi belajar, konsep abstrak menuntut peserta didik membangun model mental. Model mental adalah representasi internal yang digunakan seseorang untuk memahami fenomena. Dalam kimia, model mental siswa sering tidak lengkap, tidak stabil, atau bercampur antara representasi ilmiah dan pengalaman sehari-hari. Misalnya, siswa dapat membayangkan partikel zat padat sebagai benda kecil yang diam total, padahal partikel tetap bergetar. Siswa dapat membayangkan molekul air dalam es "mengeras" seperti benda makroskopik, padahal yang berubah adalah susunan dan energi gerak molekul. Pembelajaran kimia harus membantu siswa membangun model mental yang lebih sesuai dengan konsep ilmiah.

Karakter abstrak konsep kimia sering menimbulkan beban kognitif tinggi. Peserta didik harus memproses istilah baru, simbol baru, model partikel, data, grafik, persamaan, dan hubungan konsep secara bersamaan. Pada saat belajar stoikiometri, misalnya, mereka harus memahami persamaan reaksi, koefisien, mol, massa molar, perbandingan mol, satuan, dan makna zat yang bereaksi. Jika semua ini diberikan sekaligus tanpa scaffolding, beban kognitif menjadi terlalu besar. Akibatnya, siswa cenderung menghafal langkah prosedural tanpa memahami konsep.

Di sinilah teknologi AI dapat berperan secara pedagogis. AI dapat membantu memecah konsep abstrak menjadi tahapan yang lebih kecil. AI dapat menjelaskan ulang konsep dengan bahasa berbeda. AI dapat membuat analogi, contoh, visualisasi, pertanyaan diagnostik, dan latihan bertingkat. AI dapat membantu guru menyusun scaffolding untuk topik yang sulit. File deskripsi mata kuliah menyebut bahwa AI dapat digunakan untuk memperjelas konsep, menghasilkan bahan ajar adaptif, membuat simulasi interaktif, mengembangkan asesmen berbasis data, memberikan umpan balik otomatis, serta mendukung pembelajaran yang lebih personal, bermakna, reflektif, dan menyenangkan.

Namun, AI tidak otomatis menyelesaikan masalah abstraksi. Jika digunakan tanpa validasi, AI justru dapat memperkuat miskonsepsi. Misalnya, AI dapat membuat analogi yang menarik tetapi salah batas. AI dapat menghasilkan gambar molekul yang tidak sesuai geometri. AI dapat menjelaskan orbital dengan model planet yang terlalu literal. AI dapat memberikan mekanisme reaksi yang keliru tetapi tampak meyakinkan. Karena itu, AI harus digunakan sebagai alat bantu guru yang memahami kimia, bukan sebagai sumber tunggal penjelasan.

Salah satu peluang AI adalah membantu pembelajaran melalui **multirepresentasi**. Guru dapat meminta AI menyusun penjelasan suatu konsep dalam beberapa bentuk: deskripsi fenomena makroskopik, penjelasan partikel submikroskopik, persamaan simbolik, analogi, contoh soal, dan pertanyaan reflektif. Misalnya, untuk konsep larutan elektrolit, AI dapat membantu membuat tabel yang membedakan apa yang diamati, apa yang terjadi pada ion, bagaimana persamaan ionisasi ditulis, dan bagaimana hubungannya dengan daya hantar listrik. Model seperti ini dapat membantu siswa menghubungkan representasi yang sebelumnya terpisah.

AI juga dapat membantu membuat **pertanyaan diagnostik** untuk mengungkap pemahaman abstrak siswa. Pertanyaan diagnostik berbeda dari pertanyaan hafalan. Tujuannya bukan hanya mengetahui apakah siswa mengingat definisi, tetapi apakah siswa memiliki model mental yang benar. Misalnya, untuk ikatan kimia, guru dapat meminta AI membuat pertanyaan yang membedakan pemahaman siswa tentang ikatan ionik, ikatan kovalen, dan gaya antarmolekul. Untuk kesetimbangan, guru dapat meminta pertanyaan yang menguji apakah siswa memahami kesetimbangan sebagai proses dinamis. Untuk elektrokimia, guru dapat meminta pertanyaan yang menguji pemahaman arah aliran elektron dan migrasi ion.

AI juga dapat membantu membuat **umpan balik konseptual**. Dalam pembelajaran kimia, umpan balik yang baik tidak cukup menyatakan benar atau salah. Umpan balik harus menunjukkan letak kesalahan dan membantu siswa memperbaiki pemahamannya. Jika siswa menyatakan bahwa "asam kuat adalah asam yang konsentrasinya tinggi", umpan balik perlu membedakan kekuatan asam dan konsentrasi. Jika siswa menyatakan bahwa "reaksi berhenti pada kesetimbangan",

umpan balik perlu menjelaskan reaksi maju dan balik tetap berlangsung. AI dapat membantu menyusun umpan balik seperti ini, tetapi guru tetap harus memeriksa akurasinya.

Konsep abstrak juga dapat dibantu melalui **simulasi dan visualisasi interaktif**. Dalam pembelajaran struktur atom, simulasi dapat menunjukkan tingkat energi, transisi elektron, atau distribusi probabilitas secara sederhana. Dalam ikatan kimia, visualisasi dapat menunjukkan distribusi elektron dan bentuk molekul. Dalam kinetika, simulasi dapat menunjukkan pengaruh suhu terhadap energi kinetik partikel. Dalam kesetimbangan, simulasi dapat menunjukkan perubahan jumlah partikel reaktan dan produk seiring waktu. Dalam elektrokimia, simulasi dapat menunjukkan aliran elektron dan ion. AI dapat membantu menghasilkan skenario, panduan, atau interpretasi simulasi tersebut.

Akan tetapi, visualisasi konsep abstrak harus selalu disertai penjelasan tentang batas model. Misalnya, bola dan batang dalam model molekul tidak berarti atom benar-benar berupa bola keras dan ikatan berupa batang. Warna atom dalam model molekul hanyalah kode konvensional, bukan warna sebenarnya atom. Awan elektron dalam ilustrasi orbital adalah representasi probabilitas, bukan kabut fisik yang terlihat. Tanpa penjelasan batas model, visualisasi dapat memperkuat pemahaman yang terlalu literal.

Dalam pembelajaran kimia, karakter abstrak juga menuntut strategi **progressive formalization**, yaitu bergerak dari pengalaman konkret menuju representasi formal secara bertahap. Guru dapat memulai dari fenomena nyata, kemudian mengajak siswa mendeskripsikan pengamatan, lalu memperkenalkan model partikel, kemudian menuliskan simbol atau persamaan, dan akhirnya melakukan perhitungan. AI dapat membantu menyusun tahapan ini. Misalnya, pada konsep asam-basa, pembelajaran dapat dimulai dari rasa asam pada makanan atau perubahan warna indikator, kemudian masuk ke ion H_3O^+ dan OH^-, lalu pH, reaksi netralisasi, dan perhitungan konsentrasi.

AI juga dapat membantu guru membuat **variasi konteks** agar konsep abstrak terasa lebih bermakna. Konsep redoks dapat dikaitkan dengan baterai, korosi, pemutihan, fotosintesis, respirasi, dan pengolahan logam. Konsep polimer dapat dikaitkan dengan plastik, serat tekstil, karet, bioplastik, dan limbah lingkungan. Konsep kesetimbangan dapat dikaitkan dengan proses Haber, sistem buffer darah, atau pelarutan karbon dioksida dalam minuman bersoda. Konteks membantu siswa melihat bahwa konsep abstrak memiliki relevansi nyata.

Namun, konteks juga perlu dikelola. Konteks yang terlalu kompleks dapat menambah beban kognitif. Jika siswa belum memahami konsep dasar kesetimbangan, langsung membahas sistem buffer darah secara rinci dapat membingungkan. Guru perlu menyesuaikan kedalaman konteks dengan kesiapan siswa. AI dapat membantu membuat beberapa versi konteks, tetapi guru harus memilih yang paling sesuai.

Karakter abstrak konsep kimia juga berimplikasi terhadap asesmen. Asesmen tidak boleh hanya mengukur hafalan istilah. Guru perlu menilai apakah siswa dapat menghubungkan fenomena, partikel, simbol, dan perhitungan. Misalnya, soal tentang larutan elektrolit tidak cukup bertanya "apa itu elektrolit?", tetapi dapat meminta siswa menjelaskan mengapa larutan NaCl menghantarkan listrik sedangkan larutan gula tidak. Soal tentang kesetimbangan tidak cukup meminta definisi, tetapi meminta siswa menjelaskan apa yang terjadi pada tingkat partikel ketika

sistem diberi gangguan. AI dapat membantu menyusun soal seperti ini, tetapi kualitasnya harus divalidasi.

Dalam konteks calon guru kimia, pemahaman tentang abstraksi konsep menjadi sangat penting. Calon guru tidak cukup menguasai jawaban benar; mereka harus memahami mengapa siswa dapat salah. Mereka perlu mampu mengenali miskonsepsi, memilih representasi yang tepat, menjelaskan batas model, dan merancang scaffolding. AI dapat menjadi alat latihan bagi calon guru. Misalnya, mahasiswa dapat meminta AI menghasilkan beberapa kemungkinan miskonsepsi siswa tentang ikatan kimia, lalu mereka diminta memeriksa mana yang valid berdasarkan literatur pendidikan kimia dan bagaimana strategi memperbaikinya.

Karakter abstrak kimia juga menjadi alasan mengapa **meaningful learning** penting. Pembelajaran bermakna terjadi ketika peserta didik mengaitkan konsep baru dengan pengetahuan yang telah dimiliki secara substantif, bukan sekadar menghafal. Dalam konsep abstrak, pengaitan ini sangat penting. Siswa perlu menghubungkan konsep mol dengan jumlah partikel dan massa, menghubungkan ikatan kimia dengan struktur elektron, menghubungkan kesetimbangan dengan laju reaksi maju dan balik, serta menghubungkan pH dengan konsentrasi ion hidrogen. AI dapat membantu membuat jembatan konsep, tetapi guru harus memastikan hubungan tersebut benar.

Abstraksi juga berkaitan dengan **mindful learning**. Peserta didik perlu sadar bahwa model kimia adalah representasi, bukan realitas langsung. Mereka perlu bertanya: “Apa yang sebenarnya digambarkan oleh model ini?”, “Apa batas model ini?”, “Bagian mana yang hanya simbol?”, “Bagaimana saya tahu bahwa penjelasan ini benar?” Pertanyaan semacam ini membantu siswa berpikir reflektif. AI dapat digunakan untuk menghasilkan pertanyaan reflektif, tetapi guru perlu mengarahkan diskusi agar siswa tidak berhenti pada jawaban permukaan.

Abstraksi kimia juga dapat dikaitkan dengan **joyful learning**. Konsep abstrak tidak harus selalu diajarkan secara kering. Visualisasi, simulasi, permainan konsep, komik edukatif, eksperimen sederhana, dan studi kasus dapat membuat pembelajaran lebih menyenangkan. Namun, joyful learning harus tetap ilmiah. Kesenangan belajar bukan sekadar hiburan, melainkan rasa tertarik karena siswa mulai memahami sesuatu yang sebelumnya sulit. AI dapat membantu menciptakan variasi aktivitas, tetapi substansi kimia tetap harus dijaga.

Dalam desain pembelajaran berbasis AI, guru dapat menerapkan prinsip berikut untuk mengatasi abstraksi kimia. Pertama, mulai dari fenomena nyata sebelum masuk ke simbol. Kedua, gunakan representasi submikroskopik secara eksplisit. Ketiga, hubungkan setiap simbol dengan makna partikel dan fenomena. Keempat, gunakan analogi secara hati-hati dan jelaskan batasnya. Kelima, berikan pertanyaan diagnostik untuk mengungkap model mental siswa. Keenam, gunakan visualisasi dan simulasi yang tervalidasi. Ketujuh, berikan umpan balik konseptual, bukan hanya koreksi jawaban. Kedelapan, latih siswa membandingkan keluaran AI dengan sumber ilmiah.

Dengan demikian, karakter abstrak konsep-konsep kimia merupakan tantangan mendasar dalam pembelajaran kimia. Abstraksi muncul karena kimia membahas entitas yang tidak terlihat, proses partikel, energi, model, simbol, skala, dan hubungan matematis. Tantangan ini menyebabkan peserta didik mudah mengalami miskonsepsi, menghafal tanpa memahami, atau gagal menghubungkan fenomena dengan penjelasan ilmiah. AI memiliki potensi besar untuk membantu

mengatasi tantangan ini melalui visualisasi, simulasi, scaffolding, umpan balik, bahan ajar adaptif, dan asesmen diagnostik. Namun, AI hanya efektif jika digunakan oleh pendidik yang memahami hakikat konsep kimia dan mampu memvalidasi setiap keluaran teknologi.

Subbab berikutnya akan membahas **tiga level representasi kimia: makroskopik, submikroskopik, dan simbolik**. Pembahasan tersebut merupakan lanjutan langsung dari karakter abstrak kimia, karena kesulitan utama peserta didik sering terjadi ketika mereka harus menghubungkan apa yang diamati, apa yang terjadi pada partikel, dan bagaimana fenomena tersebut ditulis dalam bahasa simbolik kimia.

2.3 Tiga Level Representasi Kimia: Makroskopik, Submikroskopik, dan Simbolik

Pembelajaran kimia tidak dapat dilepaskan dari tiga level representasi utama, yaitu **makroskopik**, **submikroskopik**, dan **simbolik**. Ketiga level ini sering disebut sebagai dasar karakteristik khas ilmu kimia karena hampir semua konsep kimia menuntut kemampuan untuk menghubungkan apa yang dapat diamati, apa yang terjadi pada tingkat partikel, dan bagaimana fenomena tersebut dinyatakan dalam bahasa simbolik. Tanpa kemampuan menghubungkan ketiga level tersebut, peserta didik cenderung memahami kimia secara parsial: mereka mungkin dapat menghafal persamaan reaksi tetapi tidak memahami fenomenanya, atau dapat melihat gejala praktikum tetapi tidak mampu menjelaskan proses partikel yang mendasarinya.

File deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia* secara eksplisit menegaskan bahwa pembelajaran kimia memiliki karakteristik khusus karena melibatkan tiga level representasi, yaitu makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Dokumen tersebut juga menjelaskan bahwa banyak konsep kimia seperti struktur atom, ikatan kimia, bentuk molekul, kesetimbangan, termodinamika, kinetika reaksi, elektrokimia, kimia organik, dan kimia komputasi memerlukan visualisasi, pemodelan, simulasi, serta penalaran abstrak. Dengan demikian, pemahaman terhadap tiga level representasi menjadi fondasi penting sebelum membahas lebih jauh peran AI dalam visualisasi, bahan ajar, asesmen, praktikum virtual, dan pembelajaran adaptif.

Level pertama adalah **representasi makroskopik**. Level ini berkaitan dengan fenomena kimia yang dapat diamati secara langsung melalui indra atau melalui alat bantu sederhana. Contohnya adalah perubahan warna, terbentuknya endapan, munculnya gas, perubahan suhu, nyala api, pelarutan zat, perubahan wujud, bau tertentu, korosi, atau perubahan pH yang terlihat melalui indikator. Dalam pembelajaran kimia, level makroskopik sering menjadi pintu masuk yang paling konkret karena peserta didik dapat melihat atau mengalami fenomenanya secara langsung.

Misalnya, ketika larutan perak nitrat dicampur dengan larutan natrium klorida, peserta didik dapat melihat terbentuknya endapan putih. Ketika pita magnesium dibakar, peserta didik melihat cahaya putih terang dan terbentuknya serbuk putih. Ketika asam klorida direaksikan dengan logam seng, peserta didik dapat melihat gelembung gas. Ketika indikator fenolftalein diteteskan ke dalam larutan basa, peserta didik melihat perubahan warna menjadi merah muda. Semua fenomena tersebut berada pada level makroskopik. Level ini penting karena memberikan pengalaman empiris yang menjadi dasar pembelajaran kimia.

Namun, pembelajaran kimia tidak boleh berhenti pada level makroskopik. Jika peserta didik hanya melihat endapan, gas, warna, atau perubahan suhu tanpa memahami penyebabnya, maka pengetahuan kimianya masih bersifat deskriptif permukaan. Mereka tahu bahwa "sesuatu terjadi", tetapi belum memahami "mengapa hal itu terjadi". Kimia sebagai ilmu tidak hanya mendeskripsikan gejala, tetapi menjelaskan gejala melalui struktur, partikel, interaksi, dan energi. Oleh sebab itu, pengalaman makroskopik harus dihubungkan dengan level kedua, yaitu representasi submikroskopik.

Level kedua adalah **representasi submikroskopik**. Level ini menjelaskan fenomena kimia berdasarkan partikel penyusun materi, seperti atom, ion, molekul, elektron, orbital, ikatan, gaya antarmolekul, struktur kristal, dan susunan partikel dalam sistem. Level submikroskopik tidak dapat diamati langsung oleh peserta didik dengan indra biasa. Ia harus dipahami melalui model, visualisasi, simulasi, analogi, dan penalaran ilmiah. Inilah level yang sering menjadi sumber kesulitan utama dalam pembelajaran kimia.

Pada contoh terbentuknya endapan putih ketika larutan $AgNO_3$ dicampur dengan NaCl, level submikroskopik menjelaskan bahwa ion Ag^+ dan ion Cl^- dalam larutan bertemu dan membentuk padatan AgCl yang sukar larut. Ion Na^+ dan NO_3^- tetap berada dalam larutan sebagai ion penonton. Pada contoh HCl bereaksi dengan Zn, level submikroskopik menjelaskan bahwa atom Zn mengalami oksidasi menjadi Zn^{2+}, sedangkan ion H^+ mengalami reduksi menjadi gas H_2. Pada contoh indikator fenolftalein berubah warna dalam larutan basa, level submikroskopik berkaitan dengan perubahan struktur molekul indikator akibat kondisi pH tertentu.

Level submikroskopik sangat penting karena di sinilah penjelasan kimia yang sebenarnya dibangun. Sifat zat, reaksi, energi, kelarutan, konduktivitas, kesetimbangan, dan laju reaksi semuanya berakar pada susunan serta interaksi partikel. Misalnya, larutan NaCl dapat menghantarkan listrik bukan karena "garamnya asin", tetapi karena dalam air terdapat ion Na^+ dan Cl^- yang bergerak bebas. Es mengapung di atas air bukan sekadar karena "es lebih ringan", tetapi karena struktur ikatan hidrogen dalam es menghasilkan susunan yang lebih renggang dibanding air cair. Titik didih air lebih tinggi daripada H_2S karena adanya ikatan hidrogen antarmolekul air. Penjelasan seperti ini menuntut pemahaman submikroskopik.

Level ketiga adalah **representasi simbolik**. Level ini mencakup bahasa simbolik kimia, seperti simbol unsur, rumus kimia, persamaan reaksi, koefisien, indeks, muatan ion, struktur Lewis, rumus struktur, mekanisme reaksi, grafik, tabel, persamaan matematis, notasi termodinamika, dan notasi elektrokimia. Level simbolik memungkinkan kimia dikomunikasikan secara ringkas, sistematis, dan kuantitatif. Bagi ahli kimia, simbol adalah alat berpikir yang sangat efisien. Namun, bagi peserta didik, simbol dapat menjadi sumber kesulitan karena satu simbol sering memuat banyak makna sekaligus.

Contohnya, persamaan:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

secara simbolik menyatakan reaksi antara hidrogen dan oksigen membentuk air. Namun, peserta didik harus memahami bahwa angka 2 di depan H_2 adalah koefisien yang menunjukkan

perbandingan jumlah molekul atau mol, sedangkan angka 2 kecil pada H_2 menunjukkan jumlah atom hidrogen dalam satu molekul hidrogen. Panah menunjukkan arah reaksi, bukan sekadar tanda "menjadi" dalam arti biasa. Persamaan tersebut juga menyiratkan hukum kekekalan massa dan perbandingan stoikiometri. Jika siswa hanya menghafal persamaan tanpa memahami makna simboliknya, mereka akan kesulitan ketika harus menyelesaikan soal stoikiometri atau menjelaskan reaksi secara konseptual.

Ketiga level representasi tersebut tidak berdiri sendiri. Kekuatan pemahaman kimia justru terletak pada kemampuan menghubungkannya. Misalnya, pada reaksi pengendapan AgCl, level makroskopiknya adalah terbentuknya endapan putih. Level submikroskopiknya adalah interaksi ion Ag^+ dan Cl^- membentuk kristal ionik AgCl yang tidak larut. Level simboliknya adalah:

$AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \rightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$

atau dalam persamaan ion bersih:

$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$

Peserta didik yang memahami ketiga level ini akan dapat menjelaskan bahwa endapan putih bukan sekadar "zat putih yang muncul", tetapi hasil interaksi ion tertentu yang membentuk padatan sukar larut. Mereka juga memahami mengapa ion Na^+ dan NO_3^- tidak muncul dalam persamaan ion bersih. Dengan demikian, hubungan antarrepresentasi membantu membangun pemahaman konseptual yang lebih dalam.

Kesulitan belajar kimia sering muncul ketika peserta didik gagal menghubungkan tiga level representasi tersebut. Ada siswa yang hanya kuat pada level makroskopik, yaitu dapat mengamati gejala tetapi tidak mampu menjelaskan partikel. Ada siswa yang hanya menghafal level simbolik, yaitu mampu menuliskan rumus dan persamaan tetapi tidak memahami makna fenomenanya. Ada pula siswa yang mendapat gambar submikroskopik, tetapi tidak mampu menghubungkannya dengan data dan simbol. Ketidakterhubungan ini menjadi salah satu sumber utama miskonsepsi kimia.

Misalnya, pada materi larutan elektrolit, peserta didik mungkin melihat bahwa lampu menyala ketika elektroda dimasukkan ke dalam larutan garam. Secara makroskopik, mereka melihat nyala lampu. Secara simbolik, mereka dapat menulis $NaCl(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$. Namun, jika mereka tidak memahami level submikroskopik, mereka mungkin mengira elektron mengalir melalui larutan seperti melalui kawat logam. Padahal, dalam larutan elektrolit, arus dihantarkan oleh pergerakan ion. Kesalahan ini menunjukkan bahwa memahami simbol saja tidak cukup.

Pada materi kesetimbangan kimia, siswa dapat melihat bahwa warna larutan tampak tidak berubah setelah beberapa waktu. Secara makroskopik, sistem tampak stabil. Secara simbolik, guru menulis reaksi bolak-balik dengan tanda panah ganda. Namun, pada level submikroskopik, siswa harus memahami bahwa reaksi maju dan reaksi balik tetap berlangsung dengan laju yang sama. Jika level submikroskopik tidak dipahami, siswa dapat menyimpulkan bahwa reaksi berhenti pada keadaan setimbang. Inilah contoh miskonsepsi yang sering muncul karena kegagalan menghubungkan representasi.

Pada materi asam-basa, siswa mungkin dapat menggunakan rumus $pH = -\log[H^+]$ secara simbolik, tetapi tidak memahami bahwa pH berkaitan dengan konsentrasi ion hidrogen atau hidronium dalam larutan. Mereka mungkin dapat menghitung pH, tetapi tidak dapat menjelaskan mengapa asam kuat dengan konsentrasi rendah dapat memiliki pH berbeda dari asam lemah dengan konsentrasi sama. Jika level simbolik tidak dihubungkan dengan level submikroskopik, perhitungan menjadi prosedur matematis kosong.

Pada materi ikatan kimia, siswa sering menghafal bahwa NaCl adalah senyawa ionik dan H_2O adalah senyawa kovalen. Namun, pemahaman yang benar menuntut mereka menghubungkan level simbolik rumus kimia dengan level submikroskopik berupa transfer elektron, gaya elektrostatik, pemakaian bersama elektron, polaritas, dan gaya antarmolekul. Tanpa hubungan ini, siswa dapat menganggap semua rumus kimia sebagai kumpulan atom yang "menempel" dengan cara yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa level simbolik dapat menipu jika tidak dijelaskan secara konseptual.

Tiga level representasi kimia juga berkaitan erat dengan cara guru menggunakan media pembelajaran. Gambar, video, simulasi, model molekul, animasi, eksperimen, tabel, dan persamaan reaksi harus dipilih berdasarkan fungsi representasionalnya. Media yang hanya menarik secara visual tetapi tidak membantu hubungan antarlevel tidak cukup efektif. Sebaliknya, media sederhana tetapi mampu menghubungkan fenomena, partikel, dan simbol dapat sangat bermakna. Oleh sebab itu, guru kimia perlu memahami bukan hanya "media apa yang menarik", tetapi "representasi apa yang dibutuhkan siswa untuk memahami konsep".

Dalam konteks inilah AI memiliki potensi besar. AI dapat membantu guru merancang bahan ajar yang menghubungkan ketiga level representasi. Misalnya, guru dapat meminta AI membuat tabel tiga kolom untuk suatu konsep: kolom pertama berisi fenomena makroskopik, kolom kedua menjelaskan proses submikroskopik, dan kolom ketiga menampilkan simbol atau persamaan kimia. AI juga dapat membantu membuat pertanyaan diagnostik untuk melihat apakah siswa mampu menghubungkan ketiga level tersebut. File deskripsi mata kuliah menegaskan bahwa AI dapat digunakan untuk visualisasi konsep kimia pada level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik.

Namun, penggunaan AI untuk representasi kimia harus disertai validasi. AI dapat menghasilkan tabel, gambar, atau penjelasan yang tampak rapi, tetapi belum tentu benar. Misalnya, AI dapat salah menuliskan persamaan ion bersih, salah menyebut spesi yang terlibat, atau membuat penjelasan partikel yang terlalu disederhanakan. AI generatif visual dapat menghasilkan gambar molekul dengan geometri yang tidak sesuai, jumlah ikatan yang salah, atau alat laboratorium yang tidak realistis. Karena itu, guru tetap harus memeriksa keluaran AI sebelum digunakan dalam pembelajaran.

AI dapat membantu pada level makroskopik dengan menyusun skenario fenomena atau praktikum. Misalnya, AI dapat membantu guru membuat deskripsi demonstrasi reaksi pengendapan, perubahan warna indikator, reaksi eksoterm-endoterm, atau elektrolisis sederhana. AI juga dapat membantu merancang pertanyaan pengamatan: "Apa yang berubah?", "Apakah terbentuk gas?", "Apakah suhu naik?", "Apakah ada endapan?", "Apakah warna berubah?" Pertanyaan seperti ini membantu siswa memperhatikan fenomena makroskopik secara lebih sistematis.

AI dapat membantu pada level submikroskopik dengan menyusun penjelasan partikel, analogi terbatas, atau simulasi konseptual. Misalnya, AI dapat menjelaskan bagaimana ion bergerak dalam larutan, bagaimana molekul air mengelilingi ion, bagaimana tumbukan efektif terjadi dalam reaksi, atau bagaimana partikel berada dalam kesetimbangan dinamis. AI juga dapat membantu guru menyusun narasi visual untuk animasi, seperti "gambarkan ion Ag^+ dan Cl^- bergerak dalam larutan lalu membentuk padatan AgCl". Namun, guru harus memastikan narasi tersebut tidak menampilkan partikel secara keliru.

AI dapat membantu pada level simbolik dengan menyusun persamaan reaksi, menyeimbangkan reaksi, membuat struktur Lewis, membuat tabel stoikiometri, menyusun grafik, atau menuliskan persamaan matematika sederhana. Namun, level simbolik sangat rentan terhadap kesalahan kecil yang berdampak besar. Satu muatan ion yang salah, satu koefisien yang keliru, atau satu fase zat yang tidak tepat dapat mengubah makna reaksi. Karena itu, validasi guru sangat penting. AI dapat membantu mempercepat penyusunan, tetapi tidak boleh menjadi penentu final.

Salah satu strategi pembelajaran yang dapat diperkuat AI adalah **representational translation**, yaitu kemampuan menerjemahkan satu representasi ke representasi lain. Dalam kimia, siswa perlu dapat mengubah fenomena makroskopik menjadi penjelasan partikel, mengubah penjelasan partikel menjadi persamaan simbolik, membaca persamaan simbolik menjadi narasi fenomena, atau mengubah data eksperimen menjadi grafik dan interpretasi konsep. AI dapat membantu memberikan latihan terstruktur untuk translasi representasi ini.

Contohnya, guru dapat meminta siswa mengamati reaksi antara larutan asam dan basa. Setelah itu, siswa diminta menuliskan apa yang diamati. Kemudian, dengan bantuan AI yang sudah diarahkan guru, siswa membandingkan pengamatannya dengan penjelasan partikel tentang ion H_3O^+ dan OH^- yang membentuk air. Selanjutnya, siswa menuliskan persamaan netralisasi. Setelah itu, siswa diminta menjelaskan kembali hubungan antara pengamatan, partikel, dan simbol. Dalam aktivitas ini, AI membantu memberi scaffolding, tetapi siswa tetap melakukan penalaran.

Strategi lain adalah **multiple representation prompting**. Guru dapat merancang prompt AI yang secara eksplisit meminta keluaran dalam tiga level representasi. Misalnya: "Jelaskan konsep larutan elektrolit untuk siswa SMA dengan tiga level representasi: makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Sertakan contoh NaCl dalam air, kemungkinan miskonsepsi siswa, dan pertanyaan diagnostik." Prompt seperti ini membantu guru menghasilkan bahan awal yang lebih sesuai dengan karakter kimia. Namun, sekali lagi, keluaran AI harus diperiksa.

Tiga level representasi juga dapat digunakan sebagai kerangka penilaian. Guru dapat menilai apakah siswa hanya mampu menghafal simbol atau benar-benar memahami konsep. Misalnya, dalam asesmen reaksi redoks, siswa tidak hanya diminta menentukan bilangan oksidasi, tetapi juga menjelaskan partikel mana yang melepaskan elektron, partikel mana yang menerima elektron, apa yang dapat diamati, dan bagaimana reaksi ditulis. Dalam asesmen kesetimbangan, siswa tidak hanya diminta menghitung Kc, tetapi juga menjelaskan makna keadaan setimbang pada level partikel. AI dapat membantu menyusun rubrik untuk menilai kemampuan representasional ini.

Kemampuan representasional sangat penting karena banyak miskonsepsi kimia sebenarnya muncul dari representasi yang tidak lengkap. Jika guru hanya menyajikan simbol, siswa dapat

menganggap kimia sebagai kumpulan rumus. Jika guru hanya menyajikan fenomena, siswa dapat menganggap kimia sebagai kumpulan pengamatan tanpa penjelasan. Jika guru hanya menyajikan model partikel tanpa menghubungkannya dengan simbol, siswa dapat kesulitan menyelesaikan soal. Oleh karena itu, pembelajaran kimia perlu mengintegrasikan ketiganya secara eksplisit.

Dalam konteks pembelajaran berbasis AI, integrasi representasi juga perlu memperhatikan jenjang peserta didik. Untuk siswa sekolah menengah, representasi submikroskopik perlu disederhanakan tetapi tidak boleh salah. Untuk mahasiswa pendidikan kimia, representasi dapat diperluas dengan konsep orbital, energi, mekanisme reaksi, dan kimia komputasi. Untuk calon guru, fokusnya bukan hanya memahami representasi, tetapi juga mampu memilih dan mengajarkannya. Calon guru perlu tahu kapan menggunakan model bola-batang, kapan menggunakan struktur Lewis, kapan menggunakan simulasi dinamis, dan kapan menggunakan persamaan matematis.

File deskripsi mata kuliah menyebut bahwa mahasiswa akan mempelajari penggunaan AI untuk visualisasi konsep kimia pada level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik, serta mengembangkan bahan ajar, LKPD, media, simulasi, asesmen, dan analisis miskonsepsi. Ini berarti kemampuan representasional bukan hanya materi teori, tetapi harus masuk ke produk akhir pembelajaran. Misalnya, dalam portofolio akhir, mahasiswa dapat diminta membuat satu LKPD yang secara eksplisit menghubungkan tiga level representasi pada satu topik kimia tertentu. AI boleh digunakan untuk membantu desain, tetapi mahasiswa harus menunjukkan validasi konsep.

Tiga level representasi juga penting untuk pembelajaran berbasis meaningful learning. Pembelajaran bermakna terjadi ketika siswa menghubungkan informasi baru dengan struktur pengetahuan yang sudah dimiliki. Dalam kimia, hubungan tersebut sering terjadi melalui perpindahan antarrepresentasi. Siswa menghubungkan pengalaman melihat endapan dengan konsep ion dan simbol reaksi. Siswa menghubungkan perubahan suhu dengan pelepasan atau penyerapan energi pada level partikel. Siswa menghubungkan angka pH dengan konsentrasi ion dan sifat larutan. AI dapat membantu membuat jembatan representasi tersebut, tetapi guru harus memastikan bahwa jembatan itu benar.

Tiga level representasi juga terkait dengan mindful learning. Peserta didik perlu sadar bahwa setiap representasi memiliki fungsi dan batas. Gambar molekul bukan realitas langsung. Persamaan reaksi bukan video proses reaksi. Model partikel bukan ukuran sebenarnya. Grafik bukan fenomena itu sendiri, tetapi representasi data. Kesadaran ini penting agar siswa tidak memahami representasi secara literal dan keliru. AI dapat membantu menghasilkan pertanyaan reflektif seperti: “Apa yang dapat dijelaskan oleh model ini?”, “Apa batas model ini?”, “Bagian mana dari fenomena yang tidak ditampilkan oleh simbol ini?” Pertanyaan seperti ini memperkuat kesadaran representasional.

Tiga level representasi juga dapat mendukung joyful learning. Pembelajaran kimia menjadi lebih menarik ketika siswa dapat melihat hubungan antara fenomena nyata, dunia partikel yang tersembunyi, dan bahasa simbolik yang ringkas. Siswa dapat merasa “aha” ketika menyadari bahwa endapan, ion, dan persamaan reaksi sebenarnya menjelaskan satu peristiwa yang sama dari sudut pandang berbeda. AI dapat membantu menciptakan aktivitas kreatif seperti komik konsep, simulasi naratif, peta konsep interaktif, atau permainan mencocokkan representasi. Namun, unsur menyenangkan harus tetap menjaga akurasi ilmiah.

Dalam praktik kelas, guru dapat menerapkan pendekatan tiga level representasi melalui beberapa langkah. Pertama, mulai dengan fenomena makroskopik yang jelas. Kedua, ajak siswa mendeskripsikan pengamatan dengan bahasa sendiri. Ketiga, perkenalkan model submikroskopik melalui gambar, simulasi, atau analogi terbatas. Keempat, tuliskan simbol atau persamaan yang mewakili fenomena. Kelima, minta siswa menjelaskan hubungan antarlevel. Keenam, berikan pertanyaan diagnostik untuk menguji pemahaman. Ketujuh, gunakan AI untuk memberikan variasi latihan atau umpan balik, tetapi tetap validasi semua keluaran.

Sebagai contoh, pada materi pembakaran magnesium, guru dapat memulai dengan demonstrasi pembakaran pita magnesium. Siswa mengamati cahaya putih terang dan terbentuknya serbuk putih. Kemudian guru menjelaskan bahwa atom magnesium bereaksi dengan molekul oksigen membentuk magnesium oksida. Setelah itu, siswa menuliskan persamaan:

$2Mg(s) + O_2(g) \rightarrow 2MgO(s)$

Selanjutnya, siswa diminta menjelaskan hubungan antara pengamatan, partikel, dan persamaan. AI dapat digunakan untuk membuat pertanyaan lanjutan: “Mengapa massa produk dapat lebih besar dari massa magnesium awal?”, “Dari mana oksigen dalam MgO berasal?”, “Mengapa reaksi ini termasuk oksidasi?” Dengan cara ini, AI membantu memperkaya dialog konseptual.

Pada materi larutan penyangga, tiga level representasi juga sangat penting. Secara makroskopik, pH larutan tidak banyak berubah ketika ditambah sedikit asam atau basa. Secara submikroskopik, komponen asam lemah dan basa konjugasinya bereaksi dengan ion H_3O^+ atau OH^- yang ditambahkan. Secara simbolik, proses tersebut ditulis melalui persamaan kesetimbangan dan persamaan Henderson-Hasselbalch jika sesuai jenjang. Tanpa hubungan ini, siswa hanya menghafal rumus pH buffer tanpa memahami fungsi kimianya. AI dapat membantu membuat simulasi narasi perubahan jumlah partikel dalam larutan penyangga.

Dalam topik elektrokimia, tiga level representasi bahkan lebih krusial. Secara makroskopik, siswa melihat voltmeter bergerak, logam melapisi elektroda, atau perubahan massa elektroda. Secara submikroskopik, terjadi transfer elektron dan migrasi ion. Secara simbolik, proses ditulis dalam setengah reaksi oksidasi, setengah reaksi reduksi, notasi sel, dan persamaan potensial sel. Banyak miskonsepsi elektrokimia muncul karena siswa tidak dapat menghubungkan ketiga level ini. AI dapat membantu membuat peta hubungan antara gejala, partikel, dan simbol.

Dalam kimia organik, hubungan representasi juga menentukan pemahaman. Secara simbolik, siswa melihat rumus struktur. Secara submikroskopik, mereka harus memahami orientasi ruang, distribusi elektron, polaritas ikatan, dan mekanisme pergerakan pasangan elektron. Secara makroskopik, mereka dapat menghubungkannya dengan sifat fisik, bau, titik didih, kelarutan, atau reaktivitas. AI dapat membantu membuat penjelasan bertahap, tetapi guru harus hati-hati karena kesalahan kecil dalam struktur organik dapat mengubah makna senyawa.

Penggunaan AI untuk tiga level representasi perlu dipadukan dengan prinsip validasi. Guru dapat menggunakan daftar periksa sederhana. Untuk level makroskopik: apakah fenomena yang dijelaskan dapat diamati dan aman dilakukan? Untuk level submikroskopik: apakah partikel, muatan, struktur, dan interaksi dijelaskan secara benar? Untuk level simbolik: apakah rumus,

koefisien, fase, muatan, dan persamaan sudah tepat? Untuk hubungan antarlevel: apakah penjelasan menunjukkan keterkaitan yang jelas? Daftar periksa ini dapat membantu guru menilai bahan yang dibuat AI.

Dalam pendidikan calon guru, latihan menggunakan AI untuk tiga level representasi dapat menjadi tugas penting. Mahasiswa dapat diminta memilih satu topik kimia, misalnya ikatan ionik, reaksi redoks, larutan elektrolit, atau kesetimbangan. Mereka kemudian menggunakan AI untuk menghasilkan bahan ajar tiga level representasi. Setelah itu, mereka memvalidasi hasilnya dengan buku teks atau sumber akademik, memperbaiki bagian yang salah, dan menyusun LKPD. Tugas ini melatih literasi AI, literasi kimia, dan pedagogi representasional secara bersamaan.

Dengan demikian, tiga level representasi kimia merupakan pusat pembelajaran kimia yang efektif. Level makroskopik memberi pengalaman konkret, level submikroskopik memberi penjelasan partikel, dan level simbolik memberi bahasa ilmiah yang ringkas serta kuantitatif. Kesulitan belajar sering terjadi ketika peserta didik tidak mampu menghubungkan ketiga level tersebut. AI dapat membantu melalui visualisasi, simulasi, penjelasan bertahap, prompt multirepresentasi, asesmen diagnostik, dan umpan balik personal. Namun, AI harus digunakan secara kritis karena representasi kimia yang salah dapat memperkuat miskonsepsi. Guru tetap menjadi validator utama yang memastikan setiap representasi akurat, bermakna, dan sesuai tujuan pembelajaran.

Subbab berikutnya akan membahas **kesulitan belajar kimia dan penyebabnya**. Pembahasan tersebut penting karena setelah memahami karakter abstrak dan tiga level representasi kimia, langkah berikutnya adalah mengidentifikasi mengapa peserta didik sering mengalami hambatan dalam mempelajari kimia, baik dari sisi konsep, bahasa simbolik, matematika, miskonsepsi, pengalaman laboratorium, maupun strategi pembelajaran.

2.4 Kesulitan Belajar Kimia dan Penyebabnya

Kesulitan belajar kimia merupakan salah satu isu sentral dalam pendidikan kimia. Kimia sering dipersepsikan sebagai mata pelajaran yang sulit, abstrak, penuh simbol, banyak rumus, menuntut hafalan sekaligus perhitungan, serta membutuhkan kemampuan membayangkan dunia partikel yang tidak terlihat. Persepsi ini tidak muncul tanpa alasan. Secara epistemologis, kimia memang memiliki struktur pengetahuan yang kompleks. Ia menghubungkan fenomena makroskopik, penjelasan submikroskopik, simbol kimia, model matematis, eksperimen, dan konteks kehidupan. Jika salah satu komponen tersebut tidak dipahami secara baik, peserta didik dapat mengalami kesulitan yang berlapis.

Dalam dokumen deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia*, kesulitan belajar kimia disebut sebagai bagian dari karakteristik pembelajaran kimia dan kebutuhan teknologi AI. Dokumen tersebut menekankan bahwa pembelajaran kimia melibatkan abstraksi konsep, miskonsepsi, representasi kimia, kebutuhan visualisasi molekul, eksperimen virtual, dan pembelajaran berbasis data. Dengan demikian, kesulitan belajar kimia bukan hanya persoalan kemampuan peserta didik, tetapi juga berkaitan dengan karakter ilmu kimia itu sendiri serta cara pembelajaran dirancang.

Penyebab pertama kesulitan belajar kimia adalah **karakter abstrak konsep kimia**. Banyak konsep kimia tidak dapat diamati langsung. Atom, ion, molekul, elektron, orbital, ikatan kimia, energi aktivasi, keadaan transisi, kesetimbangan dinamis, dan gaya antarmolekul merupakan entitas atau proses yang harus dipahami melalui model. Peserta didik tidak dapat melihat elektron berpindah, molekul bertumbukan, ion bergerak dalam larutan, atau reaksi maju dan balik berlangsung pada keadaan setimbang. Mereka hanya dapat melihat gejala makroskopik, sedangkan penjelasan ilmiahnya berada pada level submikroskopik.

Abstraksi ini membuat peserta didik sering membangun gambaran mental yang tidak sesuai dengan konsep ilmiah. Misalnya, mereka dapat menganggap atom sebagai bola kecil yang benar-benar padat, elektron sebagai benda kecil yang mengelilingi inti seperti planet, atau ikatan kimia sebagai batang fisik yang menghubungkan atom. Model sederhana memang diperlukan pada tahap awal, tetapi jika batas model tidak dijelaskan, peserta didik dapat memahami model secara literal. Kesulitan ini memperlihatkan bahwa abstraksi kimia memerlukan visualisasi, analogi, simulasi, dan penjelasan bertahap yang hati-hati.

Penyebab kedua adalah **kegagalan menghubungkan tiga level representasi kimia**. Sebagaimana dibahas pada subbab sebelumnya, kimia dipahami melalui level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Kesulitan belajar sering muncul ketika peserta didik hanya memahami salah satu level. Mereka dapat melihat terbentuknya endapan tetapi tidak memahami interaksi ion. Mereka dapat menulis persamaan reaksi tetapi tidak memahami perubahan partikel. Mereka dapat menghitung mol tetapi tidak memahami makna jumlah partikel. Penelitian pendidikan kimia telah lama menegaskan bahwa kemampuan menghubungkan representasi merupakan salah satu kunci pemahaman kimia yang mendalam.

Kegagalan menghubungkan representasi dapat terlihat pada berbagai topik. Pada larutan elektrolit, peserta didik mungkin mengetahui bahwa lampu menyala dalam larutan garam, tetapi tidak memahami bahwa ion bergerak bebas menjadi pembawa muatan. Pada kesetimbangan, mereka mungkin menulis tanda panah bolak-balik, tetapi mengira reaksi berhenti ketika setimbang. Pada asam-basa, mereka mungkin menghitung pH, tetapi tidak memahami hubungan antara pH dan konsentrasi ion H_3O^+. Pada elektrokimia, mereka mungkin menghafal anode dan katode, tetapi tidak memahami aliran elektron dan migrasi ion. Kesulitan ini tidak dapat diatasi hanya dengan latihan hafalan.

Penyebab ketiga adalah **bahasa simbolik kimia yang padat makna**. Kimia memiliki sistem simbol yang sangat efisien, tetapi juga rumit bagi pemula. Simbol unsur, rumus molekul, rumus empiris, persamaan reaksi, struktur Lewis, muatan ion, koefisien, indeks, tanda fase, panah reaksi, tanda kesetimbangan, notasi sel, dan persamaan matematis memuat banyak informasi. Peserta didik harus belajar membaca simbol sekaligus memahami maknanya. Kesalahan kecil dalam membaca simbol dapat menghasilkan kesalahan konsep.

Sebagai contoh, perbedaan antara 2H, H_2, dan $2H_2$ sering membingungkan siswa pemula. 2H menunjukkan dua atom hidrogen bebas, H_2 menunjukkan satu molekul hidrogen, sedangkan $2H_2$ menunjukkan dua molekul hidrogen. Dalam stoikiometri, perbedaan antara koefisien dan indeks sangat penting. Jika siswa tidak memahami perbedaan itu, mereka dapat menyetarakan reaksi dengan mengubah indeks, padahal perubahan indeks berarti mengubah jenis zat. Kesalahan

simbolik semacam ini menunjukkan bahwa kimia memiliki literasi bahasa tersendiri yang harus diajarkan secara eksplisit.

Penyebab keempat adalah **beban kognitif yang tinggi**. Banyak materi kimia menuntut peserta didik memproses beberapa informasi sekaligus. Pada topik stoikiometri, misalnya, siswa harus memahami konsep mol, massa molar, persamaan reaksi, koefisien, perbandingan mol, satuan, zat pereaksi, produk, pereaksi pembatas, dan rendemen. Pada topik kesetimbangan, siswa harus memahami reaksi bolak-balik, laju reaksi, konsentrasi, tetapan kesetimbangan, kuosien reaksi, prinsip Le Chatelier, dan pengaruh perubahan kondisi. Jika pembelajaran tidak disusun secara bertahap, beban kognitif peserta didik menjadi terlalu berat.

Beban kognitif yang tinggi sering menyebabkan siswa menghafal prosedur tanpa memahami makna. Mereka mengingat langkah-langkah penyelesaian soal, tetapi tidak memahami mengapa langkah tersebut dilakukan. Dalam stoikiometri, siswa dapat mengikuti pola "gram ke mol, mol ke mol, mol ke gram", tetapi tidak memahami bahwa koefisien reaksi menyatakan perbandingan jumlah zat secara mol. Dalam pH, siswa dapat menggunakan rumus tanpa memahami makna ionisasi. Dalam termokimia, siswa dapat menjumlahkan persamaan hukum Hess tanpa memahami konservasi energi. Pembelajaran seperti ini rentan gagal ketika soal sedikit dimodifikasi.

Penyebab kelima adalah **kelemahan konsep prasyarat**. Kimia bersifat hierarkis. Materi yang lebih tinggi sering bergantung pada penguasaan materi sebelumnya. Kesulitan dalam stoikiometri dapat berasal dari lemahnya konsep mol, massa atom relatif, massa molar, persamaan reaksi, atau perbandingan. Kesulitan dalam kesetimbangan dapat berasal dari lemahnya konsep reaksi kimia, konsentrasi, laju reaksi, dan sistem dinamis. Kesulitan dalam elektrokimia dapat berasal dari lemahnya konsep redoks, bilangan oksidasi, ion, dan energi. Jika guru hanya mengajarkan materi baru tanpa memeriksa prasyarat, peserta didik mudah tertinggal.

Kelemahan prasyarat sering tidak terlihat secara langsung. Siswa mungkin tampak mengikuti pelajaran, tetapi sebenarnya belum memahami konsep dasar. Misalnya, ketika mempelajari larutan penyangga, siswa mungkin belum benar-benar memahami asam lemah, basa konjugasi, kesetimbangan, dan pH. Akibatnya, mereka hanya menghafal rumus tanpa memahami fungsi buffer. Di sinilah asesmen diagnostik sangat penting. AI dapat membantu guru membuat pertanyaan diagnostik untuk memetakan prasyarat, tetapi interpretasi tetap memerlukan keahlian guru.

Penyebab keenam adalah **miskonsepsi yang sudah terbentuk sebelumnya**. Peserta didik datang ke kelas dengan pengetahuan awal, pengalaman sehari-hari, bahasa populer, dan intuisi yang tidak selalu sesuai dengan konsep ilmiah. Mereka mungkin menganggap zat "hilang" ketika larut, panas sebagai zat yang berpindah, asam sebagai zat yang selalu berbahaya, atau reaksi kimia sebagai proses yang hanya terjadi jika tampak perubahan besar. Miskonsepsi ini dapat bertahan kuat karena sering terasa masuk akal berdasarkan pengalaman sehari-hari.

Miskonsepsi berbeda dari ketidaktahuan. Jika peserta didik tidak tahu, guru dapat memberi informasi baru. Tetapi jika peserta didik sudah memiliki pemahaman keliru yang diyakini benar, guru perlu mengguncang dan membangun ulang struktur pemahaman tersebut. Misalnya, siswa yang yakin bahwa katalis menggeser kesetimbangan tidak cukup diberi definisi katalis. Mereka

perlu memahami hubungan antara energi aktivasi, laju reaksi maju, laju reaksi balik, dan tetapan kesetimbangan. AI dapat membantu membuat pertanyaan konflik kognitif, tetapi guru tetap perlu memandu diskusi agar perubahan konseptual terjadi.

Penyebab ketujuh adalah **kesulitan matematika dalam konteks kimia**. Banyak siswa menganggap kimia sulit karena melibatkan perhitungan. Namun, kesulitan sebenarnya sering bukan semata-mata matematika, melainkan hubungan antara matematika dan makna kimia. Siswa mungkin dapat menghitung secara aljabar, tetapi tidak memahami apa arti angka yang dihitung. Mereka dapat memasukkan angka ke rumus pH, tetapi tidak memahami hubungan logaritma dengan konsentrasi ion. Mereka dapat menggunakan rumus gas ideal, tetapi tidak memahami kondisi partikel gas. Mereka dapat menghitung mol, tetapi tidak memahami mol sebagai jembatan antara dunia partikel dan dunia makroskopik.

Kesulitan matematika juga berkaitan dengan satuan, angka penting, proporsi, grafik, dan interpretasi data. Pada kimia, satuan bukan detail teknis kecil, melainkan bagian dari makna. Kesalahan satuan dapat menunjukkan kesalahan konsep. Misalnya, molaritas bukan jumlah mol saja, tetapi mol per liter larutan. Tetapan laju memiliki satuan yang bergantung pada orde reaksi. Energi per mol berbeda dari energi total. AI dapat membantu menjelaskan langkah perhitungan, tetapi guru harus memastikan bahwa siswa memahami makna kimia di balik perhitungan.

Penyebab kedelapan adalah **kurangnya pengalaman laboratorium atau pengalaman empiris**. Kimia sebagai ilmu eksperimental seharusnya dipelajari melalui pengamatan dan percobaan. Namun, dalam banyak konteks, pembelajaran kimia masih dominan teoritis karena keterbatasan laboratorium, alat, bahan, waktu, jumlah siswa, atau pertimbangan keselamatan. Akibatnya, peserta didik belajar reaksi, larutan, indikator, gas, endapan, kalor, dan elektrokimia hanya melalui buku atau ceramah. Tanpa pengalaman empiris, konsep kimia dapat terasa jauh dan tidak bermakna.

Praktikum membantu siswa memahami bahwa kimia bukan sekadar simbol. Ketika siswa melihat endapan terbentuk, mereka memiliki pengalaman makroskopik untuk dihubungkan dengan ion dan persamaan reaksi. Ketika siswa melakukan titrasi, mereka memahami bahwa pH dan netralisasi tidak hanya angka, tetapi proses nyata yang membutuhkan ketelitian. Ketika siswa mengukur perubahan suhu, mereka merasakan konsep eksoterm dan endoterm. AI dan virtual laboratory dapat membantu ketika praktikum nyata terbatas, tetapi pengalaman empiris tetap penting untuk membangun literasi kimia.

Penyebab kesembilan adalah **kurangnya keterampilan spasial**. Beberapa topik kimia membutuhkan kemampuan membayangkan struktur tiga dimensi, seperti geometri molekul, stereokimia, kristal, orbital, dan konformasi molekul. Siswa yang kesulitan membayangkan ruang tiga dimensi dapat mengalami hambatan dalam memahami bentuk molekul, polaritas, isomer, mekanisme reaksi organik, dan interaksi molekul. Gambar dua dimensi dalam buku sering tidak cukup. Model molekul, visualisasi 3D, augmented reality, simulasi, dan AI visual dapat membantu, tetapi tetap perlu dipandu agar tidak salah representasi.

Penyebab kesepuluh adalah **bahasa pembelajaran yang terlalu formal atau tidak kontekstual**. Kimia memiliki banyak istilah teknis: oksidasi, reduksi, elektrolit, endoterm, eksoterm, katalis,

kesetimbangan, orbital, hibridisasi, entalpi, entropi, molaritas, dan sebagainya. Jika istilah digunakan tanpa penjelasan konseptual dan contoh, siswa dapat menghafal definisi tanpa memahami makna. Selain itu, istilah kimia kadang memiliki makna berbeda dari bahasa sehari-hari. Kata "kuat" dalam asam kuat, misalnya, tidak sama dengan pekat atau berbahaya. Kata "spontan" dalam termodinamika tidak sama dengan berlangsung cepat. Perbedaan bahasa ini dapat memicu miskonsepsi.

Penyebab kesebelas adalah **strategi pembelajaran yang terlalu berpusat pada guru dan hafalan**. Jika pembelajaran kimia hanya berupa ceramah, pencatatan rumus, dan latihan soal rutin, siswa tidak banyak diberi kesempatan membangun konsep, berdiskusi, bertanya, menguji ide, atau menghubungkan representasi. Pembelajaran semacam ini mungkin efektif untuk jangka pendek dalam menghadapi soal serupa, tetapi lemah dalam membangun pemahaman mendalam. Peserta didik dapat menguasai prosedur, tetapi kesulitan menghadapi masalah baru atau menjelaskan alasan ilmiah di balik jawaban.

Strategi pembelajaran yang lebih baik perlu melibatkan inquiry, problem-based learning, project-based learning, diskusi argumentatif, eksperimen, visualisasi, refleksi, dan asesmen formatif. AI dapat membantu guru merancang strategi tersebut. Misalnya, AI dapat membantu membuat pertanyaan pemantik, skenario masalah, variasi LKPD, rubrik argumentasi, atau umpan balik. Namun, AI tidak otomatis membuat pembelajaran menjadi aktif. Jika guru menggunakan AI hanya untuk membuat ringkasan dan soal hafalan, maka pembelajaran tetap dangkal. Teknologi harus didukung desain pedagogis.

Penyebab kedua belas adalah **rendahnya motivasi dan kepercayaan diri peserta didik**. Kimia sering dianggap sulit sejak awal. Persepsi ini dapat menimbulkan kecemasan, terutama ketika siswa menghadapi rumus, perhitungan, dan istilah asing. Jika siswa merasa "saya tidak bisa kimia", mereka cenderung menghindari usaha mendalam. Kesulitan awal yang tidak segera diatasi dapat memperkuat rasa gagal. Dalam situasi ini, AI dapat membantu memberikan latihan bertahap dan penjelasan personal, tetapi peran guru dalam memberi dukungan emosional tetap sangat penting.

Penyebab ketiga belas adalah **kurangnya hubungan antara kimia dan kehidupan sehari-hari**. Jika kimia hanya dipelajari sebagai kumpulan konsep abstrak, siswa sulit melihat relevansinya. Padahal, kimia sangat dekat dengan kehidupan: makanan, obat, air, udara, energi, kosmetik, pupuk, baterai, plastik, deterjen, polusi, dan kesehatan. Pembelajaran yang tidak kontekstual membuat kimia terasa jauh. AI dapat membantu guru membuat contoh kontekstual yang beragam, tetapi contoh tersebut harus akurat dan sesuai dengan lingkungan peserta didik.

Penyebab keempat belas adalah **ketidaktepatan penggunaan media dan teknologi**. Media pembelajaran dapat membantu, tetapi juga dapat membingungkan jika tidak sesuai tujuan. Animasi yang terlalu cepat, gambar molekul yang tidak akurat, simulasi tanpa penjelasan, atau infografik yang terlalu padat dapat menambah kesulitan. Teknologi bukan jaminan pemahaman. AI juga demikian. Jika digunakan tanpa desain, AI dapat menghasilkan materi yang berlimpah tetapi tidak terarah. Guru harus memilih media berdasarkan kebutuhan representasi dan tujuan belajar.

Penyebab kelima belas adalah **kurangnya asesmen formatif dan umpan balik**. Banyak kesulitan belajar kimia tidak terdeteksi sampai ujian akhir. Padahal, kesalahan konsep seharusnya diidentifikasi lebih awal. Asesmen formatif membantu guru mengetahui pemahaman siswa selama proses belajar. Umpan balik membantu siswa memperbaiki kesalahan. AI dapat membantu mempercepat pembuatan pertanyaan diagnostik, analisis respons, dan pemberian umpan balik awal. Namun, umpan balik AI harus diperiksa agar tidak menyesatkan. Umpan balik yang baik harus spesifik, konseptual, dan mendorong perbaikan.

Kesulitan belajar kimia juga dapat dilihat sebagai interaksi antara faktor internal dan eksternal. Faktor internal mencakup pengetahuan awal, kemampuan abstraksi, kemampuan matematika, kemampuan spasial, motivasi, strategi belajar, dan kepercayaan diri. Faktor eksternal mencakup cara mengajar, kualitas bahan ajar, ketersediaan praktikum, media pembelajaran, bahasa guru, asesmen, lingkungan kelas, dan akses teknologi. Karena itu, solusi kesulitan belajar tidak boleh menyalahkan siswa semata. Guru, kurikulum, media, dan teknologi juga perlu dievaluasi.

Dalam konteks AI, pemahaman terhadap penyebab kesulitan belajar sangat penting. AI tidak boleh digunakan secara umum tanpa diagnosis. Jika kesulitan siswa disebabkan oleh miskonsepsi, maka AI harus membantu mengungkap dan memperbaiki miskonsepsi. Jika kesulitan disebabkan oleh lemah prasyarat, AI harus membantu remedial. Jika kesulitan disebabkan oleh abstraksi, AI harus membantu visualisasi. Jika kesulitan disebabkan oleh perhitungan, AI harus membantu scaffolding matematis sekaligus makna kimia. Jika kesulitan disebabkan oleh kurangnya pengalaman empiris, AI dapat membantu simulasi, tetapi praktikum nyata tetap perlu diupayakan.

File deskripsi mata kuliah menyebut bahwa AI dapat digunakan untuk analisis miskonsepsi, pembelajaran diferensiasi, remedial, pengayaan, visualisasi konsep, asesmen berbasis data, dan umpan balik otomatis. Ini berarti AI harus diposisikan sebagai alat untuk merespons penyebab kesulitan belajar, bukan sekadar alat membuat materi. Dengan kata lain, penggunaan AI yang baik dimulai dari pertanyaan pedagogis: “Kesulitan apa yang dialami peserta didik?” bukan “Aplikasi AI apa yang sedang populer?”

Dalam praktik pembelajaran, guru dapat menggunakan AI untuk membuat **peta kesulitan belajar**. Misalnya, untuk topik stoikiometri, guru dapat mengidentifikasi kemungkinan kesulitan: belum paham mol, tidak bisa menyetarakan reaksi, salah memahami koefisien, bingung satuan, tidak memahami pereaksi pembatas, atau sekadar salah hitung. Setelah itu, guru menggunakan AI untuk membuat pertanyaan diagnostik pada setiap titik kesulitan. Hasil respons siswa kemudian dianalisis untuk menentukan tindak lanjut. Cara ini lebih efektif daripada memberi latihan soal seragam kepada semua siswa.

Pada topik ikatan kimia, guru dapat menggunakan AI untuk mengembangkan daftar miskonsepsi potensial: semua ikatan terjadi karena atom ingin mencapai oktet, ikatan ionik dianggap sebagai ikatan antara satu pasangan atom saja, ikatan kovalen dianggap selalu nonpolar, gaya antarmolekul dianggap sama dengan ikatan kimia, atau molekul polar dianggap selalu bermuatan. Guru kemudian dapat merancang pertanyaan dan aktivitas untuk menguji pemahaman tersebut. AI membantu mempercepat perancangan, tetapi guru tetap memvalidasi isi.

Pada topik kesetimbangan, AI dapat membantu membuat simulasi naratif atau pertanyaan reflektif. Misalnya, siswa diminta menjelaskan apakah reaksi berhenti pada keadaan setimbang. AI dapat membantu membuat umpan balik yang menjelaskan bahwa pada keadaan setimbang, laju reaksi maju dan balik sama. Namun, guru tetap perlu menggunakan demonstrasi, grafik, atau simulasi visual agar siswa benar-benar memahami dinamika sistem.

Pada topik elektrokimia, AI dapat membantu membuat diagram alur berpikir: tentukan reaksi oksidasi, tentukan reaksi reduksi, identifikasi anode dan katode, tentukan arah elektron, tentukan migrasi ion, tulis notasi sel, dan hitung potensial sel. Diagram alur seperti ini dapat membantu siswa yang kesulitan karena banyaknya komponen. Namun, guru harus memastikan bahwa diagram tersebut berbeda antara sel volta dan sel elektrolisis, karena banyak siswa tertukar.

Kesulitan belajar kimia juga dapat dikurangi melalui **pembelajaran berbasis representasi yang eksplisit**. Guru perlu sering bertanya: “Apa yang kita lihat?”, “Apa yang terjadi pada partikel?”, “Bagaimana kita menuliskannya dengan simbol?”, “Apa makna angka ini?”, “Apa hubungan grafik dengan proses partikel?” AI dapat membantu membuat daftar pertanyaan seperti itu untuk berbagai topik. Pertanyaan representasional membantu siswa membangun jembatan antara pengalaman, model, dan simbol.

AI juga dapat mendukung **pembelajaran diferensiasi**. Untuk siswa yang lemah konsep dasar, AI dapat membantu membuat penjelasan sederhana dan latihan bertahap. Untuk siswa yang sudah menguasai konsep, AI dapat membantu membuat masalah kontekstual yang lebih menantang. Untuk siswa yang kesulitan visualisasi, AI dapat membantu membuat deskripsi visual atau simulasi. Untuk siswa yang kesulitan bahasa, AI dapat membantu menyederhanakan teks. Namun, diferensiasi harus tetap diarahkan oleh guru agar tidak menurunkan standar atau memberi label tetap kepada siswa.

Di sisi lain, AI juga dapat menjadi sumber kesulitan baru jika tidak digunakan dengan benar. Peserta didik dapat menjadi terlalu bergantung pada jawaban AI. Mereka dapat menerima penjelasan salah. Mereka dapat menyalin tugas tanpa memahami. Mereka dapat kehilangan kesempatan untuk berpikir. Mereka dapat bingung karena AI memberikan penjelasan berbeda dari guru atau buku. Oleh karena itu, guru harus mengajarkan literasi AI sebagai bagian dari strategi mengatasi kesulitan belajar. Siswa perlu tahu bahwa AI harus diperiksa, dibandingkan, dan digunakan untuk belajar, bukan sekadar menghasilkan jawaban.

Kesulitan belajar kimia juga menunjukkan pentingnya desain pembelajaran yang mengintegrasikan meaningful learning, mindful learning, dan joyful learning. Meaningful learning membantu siswa menghubungkan konsep baru dengan pengetahuan awal. Mindful learning membantu siswa sadar terhadap proses berpikir dan batas representasi. Joyful learning membantu siswa mengalami kimia sebagai pembelajaran yang menarik dan tidak menakutkan. AI dapat mendukung ketiganya melalui bahan ajar adaptif, pertanyaan reflektif, visualisasi, simulasi, dan aktivitas kreatif. Namun, ketiganya tetap memerlukan desain pedagogis manusia.

Dengan demikian, kesulitan belajar kimia bersumber dari banyak faktor: abstraksi konsep, kegagalan menghubungkan representasi, bahasa simbolik, beban kognitif, lemahnya prasyarat, miskonsepsi, matematika, keterbatasan praktikum, kemampuan spasial, bahasa teknis, strategi

pembelajaran, motivasi, kurangnya konteks, penggunaan media yang tidak tepat, serta minimnya asesmen formatif. AI dapat membantu mengatasi sebagian kesulitan tersebut, tetapi hanya jika digunakan berdasarkan diagnosis yang tepat, validasi konten yang kuat, dan desain pedagogis yang jelas. AI bukan solusi ajaib, tetapi dapat menjadi alat bantu yang sangat berguna ketika ditempatkan dalam kerangka pembelajaran kimia yang ilmiah, representasional, dan manusiawi.

Subbab berikutnya akan membahas **miskonsepsi dalam pembelajaran kimia**. Pembahasan tersebut penting karena miskonsepsi merupakan salah satu bentuk kesulitan belajar yang paling kuat dan sering bertahan lama. Untuk menggunakan AI secara efektif dalam pembelajaran kimia, guru perlu memahami jenis-jenis miskonsepsi, penyebabnya, cara mengidentifikasinya, dan strategi memperbaikinya tanpa menimbulkan kesalahan konsep baru.

2.5 Miskonsepsi dalam Pembelajaran Kimia

Miskonsepsi merupakan salah satu persoalan paling mendasar dalam pembelajaran kimia. Secara umum, miskonsepsi dapat dipahami sebagai pemahaman peserta didik yang tidak sesuai dengan konsep ilmiah yang diterima, tetapi diyakini oleh peserta didik sebagai benar. Miskonsepsi berbeda dari sekadar "tidak tahu". Peserta didik yang tidak tahu masih memiliki ruang kosong untuk diisi dengan pengetahuan baru. Sebaliknya, peserta didik yang mengalami miskonsepsi telah memiliki struktur pemahaman tertentu, tetapi struktur tersebut keliru, tidak lengkap, atau tidak konsisten dengan penjelasan ilmiah. Karena itu, miskonsepsi sering lebih sulit diperbaiki daripada kekurangan informasi biasa.

Dalam pembelajaran kimia, miskonsepsi muncul karena kimia melibatkan konsep abstrak, tiga level representasi, bahasa simbolik, model partikel, matematika, serta pengalaman sehari-hari yang tidak selalu sejalan dengan konsep ilmiah. File deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia* menempatkan miskonsepsi sebagai bagian penting dari karakteristik pembelajaran kimia dan kebutuhan teknologi AI. Dokumen tersebut menyebut bahwa mahasiswa perlu memahami kesulitan belajar kimia, miskonsepsi, abstraksi konsep, representasi kimia, kebutuhan visualisasi molekul, eksperimen virtual, serta pembelajaran berbasis data. Dengan demikian, pembahasan miskonsepsi tidak dapat dipisahkan dari desain pembelajaran kimia berbantuan AI.

Miskonsepsi sering berakar pada pengetahuan awal peserta didik. Sebelum belajar kimia secara formal, peserta didik telah memiliki pengalaman tentang zat, panas, dingin, larutan, pembakaran, karat, asam, basa, gas, warna, bau, dan perubahan benda. Pengalaman ini membentuk pemahaman intuitif. Sebagian pemahaman intuitif dapat menjadi jembatan menuju konsep ilmiah, tetapi sebagian lain dapat menjadi hambatan. Misalnya, dalam pengalaman sehari-hari, kata "kuat" sering berarti pekat, berbahaya, atau terasa tajam. Akibatnya, siswa dapat mengira bahwa "asam kuat" pasti berarti asam dengan konsentrasi tinggi atau asam yang paling berbahaya. Padahal, dalam kimia, kekuatan asam berkaitan dengan derajat ionisasi, bukan konsentrasi atau tingkat bahaya secara langsung.

Miskonsepsi juga dapat muncul dari bahasa pembelajaran. Banyak istilah kimia menggunakan kata yang juga ada dalam bahasa sehari-hari, tetapi memiliki makna teknis yang berbeda. Kata "spontan" dalam termodinamika tidak berarti reaksi berlangsung cepat atau terjadi dengan

sendirinya secara kasatmata dalam waktu singkat, melainkan berkaitan dengan kecenderungan termodinamik berdasarkan energi bebas. Kata "setimbang" dalam kimia tidak berarti tidak ada proses yang berlangsung, tetapi menunjukkan keadaan dinamis ketika laju reaksi maju sama dengan laju reaksi balik. Kata "kuat" dalam asam kuat tidak sama dengan pekat. Ketidaksesuaian antara bahasa sehari-hari dan bahasa ilmiah dapat menjadi sumber miskonsepsi yang kuat.

Miskonsepsi juga dapat berasal dari penyederhanaan model. Dalam kimia, model digunakan untuk membantu memahami entitas yang tidak terlihat, seperti atom, elektron, molekul, orbital, ikatan, atau gaya antarmolekul. Namun, model yang terlalu disederhanakan dapat dipahami secara literal. Misalnya, model atom Bohr sangat berguna untuk pengantar, tetapi jika tidak dijelaskan batasnya, siswa dapat mengira elektron benar-benar bergerak dalam lintasan melingkar tetap seperti planet. Model bola-batang pada molekul berguna untuk visualisasi, tetapi dapat membuat siswa mengira ikatan kimia adalah batang fisik. Struktur Lewis membantu memahami elektron valensi, tetapi tidak selalu cukup untuk menjelaskan delokalisasi, resonansi, atau sifat molekul nyata.

Sumber lain miskonsepsi adalah pembelajaran yang terlalu menekankan hafalan dan prosedur. Ketika siswa belajar kimia hanya melalui rumus dan langkah penyelesaian soal, mereka mungkin berhasil menjawab soal rutin, tetapi tidak memahami konsep di baliknya. Misalnya, siswa dapat menghafal rumus $pH = -\log[H^+]$, tetapi tidak memahami bahwa $[H^+]$ merupakan representasi konsentrasi ion hidrogen atau lebih tepatnya ion hidronium dalam larutan. Siswa dapat menghafal bahwa katalis mempercepat reaksi, tetapi tidak memahami bahwa katalis menurunkan energi aktivasi dan tidak menggeser posisi kesetimbangan. Pembelajaran prosedural tanpa pemahaman konseptual membuka ruang bagi miskonsepsi tersembunyi.

Miskonsepsi dalam kimia juga sering terjadi karena peserta didik gagal menghubungkan level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Gilbert dan Treagust menekankan pentingnya hubungan antara representasi makro, submikro, dan simbolik dalam pendidikan kimia; ketiga representasi ini menjadi model kunci untuk memahami bagaimana peserta didik membangun konsep kimia. Ketika hubungan ini gagal, siswa dapat menghafal simbol tanpa memahami fenomena, atau melihat fenomena tanpa memahami partikel. Misalnya, siswa dapat menulis $NaCl(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$, tetapi tidak memahami bahwa ion-ion tersebut bergerak bebas dalam larutan dan memungkinkan hantaran listrik.

Miskonsepsi pada topik **struktur atom** sangat umum. Siswa sering membayangkan atom sebagai bola padat kecil atau sistem tata surya mini. Mereka dapat mengira elektron berada pada lintasan pasti, padahal model mekanika kuantum menjelaskan orbital sebagai daerah probabilitas. Siswa juga dapat salah memahami hubungan antara kulit, subkulit, orbital, dan elektron. Dalam konfigurasi elektron, siswa mungkin menghafal urutan pengisian tanpa memahami prinsip energi, larangan Pauli, dan kaidah Hund. Kesalahan ini akan berdampak pada pemahaman ikatan kimia, periodisitas unsur, dan reaktivitas.

Pada topik **ikatan kimia**, miskonsepsi sering berkaitan dengan ikatan ionik, kovalen, dan gaya antarmolekul. Siswa dapat menganggap ikatan ionik terjadi antara satu atom natrium dan satu atom klorin sebagai pasangan molekul NaCl, padahal padatan NaCl tersusun sebagai kisi ionik. Siswa dapat menganggap semua ikatan kovalen terjadi karena atom "ingin" mencapai oktet, seolah-olah atom memiliki tujuan sadar. Siswa juga dapat mencampuradukkan ikatan kovalen dalam molekul

dengan gaya antarmolekul antarpartikel. Kajian tentang miskonsepsi kimia menunjukkan bahwa topik ikatan kovalen, ikatan ionik, ikatan hidrogen, dan geometri molekul termasuk area yang sering menimbulkan miskonsepsi karena bersifat abstrak dan kompleks.

Pada topik **gaya antarmolekul**, siswa sering mengira bahwa gaya antarmolekul sama dengan ikatan kimia dalam molekul. Misalnya, mereka dapat menyangka bahwa ketika air mendidih, ikatan O–H dalam molekul air putus. Padahal, pada pendidihan air, yang terutama diatasi adalah gaya antarmolekul, khususnya ikatan hidrogen antarmolekul, bukan ikatan kovalen O–H di dalam molekul air. Kesalahan ini muncul karena siswa tidak membedakan interaksi intramolekul dan antarmolekul. Jika miskonsepsi ini tidak diperbaiki, siswa akan kesulitan memahami titik didih, kelarutan, viskositas, tekanan uap, dan sifat fisik zat.

Pada topik **stoikiometri**, miskonsepsi sering berhubungan dengan konsep mol, koefisien reaksi, pereaksi pembatas, dan hukum kekekalan massa. Siswa dapat mengira koefisien reaksi menunjukkan massa, bukan perbandingan jumlah partikel atau mol. Siswa dapat salah mengubah massa menjadi mol atau menggunakan perbandingan koefisien secara mekanis tanpa memahami maknanya. Penelitian tentang miskonsepsi stoikiometri menunjukkan bahwa kesalahan pada konsep stoikiometri dapat berdampak pada pemahaman konsep kesetimbangan kimia berikutnya, karena konsep-konsep kimia saling bergantung secara hierarkis.

Pada topik **larutan dan kelarutan**, siswa dapat mengalami miskonsepsi bahwa zat yang larut "hilang" atau berubah menjadi air. Mereka dapat mengira bahwa semua zat yang larut menghasilkan ion, padahal gula larut dalam air sebagai molekul netral. Mereka dapat mengira bahwa larutan jenuh berarti tidak ada lagi proses pelarutan sama sekali, padahal dalam beberapa sistem terjadi kesetimbangan dinamis antara pelarutan dan pengendapan. Pada kesetimbangan kelarutan, siswa sering kesulitan membedakan kelarutan, hasil kali kelarutan, efek ion senama, dan pengendapan selektif.

Pada topik **asam-basa**, miskonsepsi sering muncul pada perbedaan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer. Banyak siswa menyamakan kekuatan asam dengan konsentrasi. Padahal, HCl 0,001 M adalah asam kuat yang encer, sedangkan CH_3COOH 1 M adalah asam lemah yang relatif pekat. Siswa juga dapat mengira pH hanya berlaku untuk asam, atau bahwa larutan netral selalu memiliki pH 7 tanpa mempertimbangkan suhu. Pada larutan penyangga, siswa sering menghafal rumus tanpa memahami mekanisme submikroskopik bagaimana komponen buffer menetralkan sedikit asam atau basa yang ditambahkan.

Pada topik **kesetimbangan kimia**, miskonsepsi sangat sering terjadi. Siswa dapat mengira bahwa pada keadaan setimbang reaksi berhenti, jumlah reaktan dan produk harus sama, atau penambahan katalis menggeser kesetimbangan. Mereka juga dapat mengira bahwa peningkatan konsentrasi selalu meningkatkan nilai tetapan kesetimbangan. Padahal, nilai tetapan kesetimbangan hanya berubah jika suhu berubah. Kesulitan ini muncul karena kesetimbangan bersifat dinamis dan tidak langsung tampak secara makroskopik. Penelitian terkait penggunaan simulasi interaktif untuk materi kesetimbangan menunjukkan bahwa miskonsepsi dapat muncul karena siswa kesulitan menghubungkan level submikroskopik, makroskopik, dan simbolik dalam pembelajaran kimia.

Pada topik **kinetika reaksi**, siswa dapat salah memahami laju reaksi, energi aktivasi, tumbukan efektif, dan katalis. Mereka dapat mengira bahwa semua tumbukan menghasilkan reaksi, padahal hanya tumbukan dengan energi cukup dan orientasi tepat yang efektif. Mereka dapat mengira bahwa katalis habis digunakan, padahal katalis diregenerasi dalam proses reaksi. Mereka dapat mengira suhu hanya "memanaskan" zat tanpa mengaitkannya dengan distribusi energi kinetik partikel. Miskonsepsi kinetika sering berkaitan dengan kesulitan membayangkan gerak dan interaksi partikel yang tidak terlihat.

Pada topik **termodinamika**, siswa dapat mengalami miskonsepsi tentang eksoterm, endoterm, entalpi, entropi, dan spontanitas. Mereka dapat mengira bahwa semua reaksi eksoterm pasti spontan dan semua reaksi endoterm tidak spontan. Padahal, spontanitas ditentukan oleh energi bebas Gibbs, yang mempertimbangkan entalpi dan entropi. Siswa juga dapat mengira reaksi spontan selalu berlangsung cepat, padahal berlian dapat berubah menjadi grafit secara termodinamik tetapi prosesnya sangat lambat dalam kondisi biasa. Miskonsepsi ini menunjukkan bahwa konsep termodinamika memerlukan penjelasan yang hati-hati antara kecenderungan, energi, dan laju.

Pada topik **elektrokimia**, miskonsepsi sering sangat kuat. Siswa dapat tertukar antara anode dan katode dalam sel volta dan sel elektrolisis. Mereka dapat salah memahami arah aliran elektron dan arah arus listrik. Mereka dapat mengira elektron bergerak melalui larutan elektrolit, padahal elektron bergerak melalui rangkaian luar, sedangkan ion bermigrasi dalam larutan atau jembatan garam. Mereka dapat salah memahami fungsi jembatan garam sebagai penyedia elektron, padahal jembatan garam menjaga netralitas muatan. Elektrokimia sulit karena melibatkan banyak representasi sekaligus: reaksi redoks, notasi sel, potensial elektroda, migrasi ion, dan gejala makroskopik.

Pada topik **kimia organik**, miskonsepsi dapat muncul dalam pemahaman struktur, isomer, gugus fungsi, mekanisme reaksi, dan stereokimia. Siswa dapat mengira rumus molekul yang sama berarti zat yang sama, padahal isomer dapat memiliki struktur dan sifat berbeda. Mereka dapat salah memahami panah mekanisme sebagai perpindahan atom, bukan perpindahan pasangan elektron. Pada stereokimia, siswa sering kesulitan membayangkan orientasi ruang dan hubungan antara struktur dua dimensi dengan bentuk tiga dimensi. Miskonsepsi ini berkaitan erat dengan kemampuan spasial dan kualitas representasi visual.

Miskonsepsi tidak hanya terjadi pada siswa sekolah menengah, tetapi juga dapat terjadi pada mahasiswa, bahkan calon guru. Hal ini penting karena calon guru yang memiliki miskonsepsi berpotensi meneruskannya kepada peserta didik. Jika calon guru belum memahami perbedaan ikatan intramolekul dan gaya antarmolekul, ia dapat menyampaikan penjelasan yang salah di kelas. Jika calon guru tidak memahami batas model atom Bohr, ia dapat memperkuat model literal yang keliru. Karena itu, mata kuliah tentang AI dalam pembelajaran kimia perlu memasukkan analisis miskonsepsi sebagai bagian penting dari kompetensi calon guru.

Taber menekankan bahwa miskonsepsi kimia perlu dicegah, didiagnosis, dan diperbaiki melalui strategi pembelajaran yang dirancang secara sengaja. Sumber Royal Society of Chemistry tentang *Chemical Misconceptions* juga menyajikan strategi untuk mengidentifikasi gagasan awal peserta didik dan menantang gagasan alternatif melalui aktivitas kelas. Prinsip ini penting karena

miskonsepsi tidak dapat diperbaiki hanya dengan memberi definisi benar. Peserta didik perlu dibuat menyadari konflik antara pemahaman awalnya dan bukti atau penjelasan ilmiah, lalu dibimbing membangun konsep baru yang lebih tepat.

Dalam pembelajaran kimia, diagnosis miskonsepsi dapat dilakukan melalui berbagai cara. Pertama, guru dapat menggunakan pertanyaan terbuka. Pertanyaan seperti "Mengapa larutan garam dapat menghantarkan listrik?" lebih diagnostik daripada "Apakah NaCl elektrolit?" Kedua, guru dapat menggunakan tes diagnostik pilihan ganda bertingkat, misalnya two-tier atau three-tier test. Pada tes jenis ini, siswa tidak hanya memilih jawaban, tetapi juga alasan dan tingkat keyakinan. Ketiga, guru dapat menggunakan wawancara, peta konsep, gambar partikel, atau tugas menjelaskan fenomena. Keempat, guru dapat menganalisis kesalahan dalam jawaban tertulis atau laporan praktikum.

AI dapat membantu proses diagnosis miskonsepsi. Guru dapat menggunakan AI untuk menyusun pertanyaan diagnostik, membuat opsi pengecoh berdasarkan miskonsepsi umum, membuat rubrik analisis jawaban, atau mengelompokkan respons siswa. File deskripsi mata kuliah menyebut bahwa AI dapat digunakan untuk analisis miskonsepsi dan asesmen diagnostik. Namun, AI tidak boleh menjadi satu-satunya penentu diagnosis. Guru harus memeriksa apakah butir diagnostik benar-benar mengukur miskonsepsi yang dimaksud dan apakah interpretasi respons siswa tepat.

AI juga dapat membantu membuat **distraktor berbasis miskonsepsi**. Dalam soal pilihan ganda yang baik, pilihan salah tidak dibuat sembarangan, tetapi merepresentasikan pola kesalahan umum. Misalnya, pada soal tentang katalis, salah satu distraktor dapat menyatakan bahwa katalis menggeser kesetimbangan ke arah produk. Distraktor ini berguna karena mengungkap miskonsepsi umum. Pada soal tentang asam kuat, distraktor dapat menyamakan asam kuat dengan asam berkonsentrasi tinggi. AI dapat membantu menghasilkan distraktor seperti ini, tetapi guru harus menilai apakah distraktor valid dan tidak membingungkan secara tidak perlu.

AI juga dapat membantu memberi **umpan balik korektif**. Umpan balik untuk miskonsepsi harus spesifik. Jika siswa menyatakan bahwa "reaksi berhenti pada kesetimbangan", umpan balik perlu menjelaskan bahwa secara makroskopik perubahan tampak berhenti, tetapi secara submikroskopik reaksi maju dan balik tetap berlangsung dengan laju sama. Jika siswa menyatakan bahwa "NaCl dalam air menghantarkan listrik karena elektron bergerak dalam air", umpan balik perlu menjelaskan bahwa pembawa muatan dalam larutan adalah ion, bukan elektron bebas seperti pada logam. AI dapat membantu menyusun umpan balik semacam ini, tetapi validasi guru tetap wajib.

Strategi perubahan konseptual juga penting dalam mengatasi miskonsepsi. Secara umum, peserta didik perlu mengalami bahwa pemahaman awalnya tidak memadai, lalu memperoleh konsep baru yang lebih jelas, masuk akal, dan berguna. Dalam kimia, perubahan konseptual dapat dilakukan melalui eksperimen konflik kognitif, simulasi partikel, diskusi argumentatif, pertanyaan diagnostik, atau analisis kasus. Misalnya, untuk mengatasi miskonsepsi bahwa zat yang larut hilang, guru dapat meminta siswa menimbang massa sebelum dan sesudah pelarutan dalam sistem tertutup. Untuk mengatasi miskonsepsi bahwa reaksi berhenti pada kesetimbangan, guru dapat menggunakan simulasi dinamis yang menunjukkan reaksi maju dan balik tetap berlangsung.

AI dapat mendukung perubahan konseptual dengan membuat skenario konflik kognitif. Misalnya, guru dapat meminta AI membuat aktivitas yang menantang miskonsepsi “asam kuat selalu lebih pekat daripada asam lemah”. Aktivitas dapat membandingkan HCl encer dan CH_3COOH pekat melalui derajat ionisasi, pH, dan konduktivitas. Guru kemudian memvalidasi dan mengadaptasi aktivitas tersebut. AI dapat membantu menghasilkan ide, tetapi guru memastikan konsep, data, dan kegiatan aman serta sesuai jenjang.

Miskonsepsi juga perlu dicegah melalui desain representasi yang tepat. Banyak miskonsepsi muncul karena representasi yang salah atau tidak lengkap. Jika guru selalu menggambar molekul air sebagai bentuk linear, siswa dapat salah memahami bentuk molekul. Jika guru selalu menggambarkan ion dalam larutan tanpa molekul air, siswa dapat mengabaikan hidrasi. Jika guru menyajikan ikatan ionik sebagai pasangan Na–Cl tunggal, siswa dapat mengira NaCl adalah molekul diskrit. Oleh karena itu, representasi visual perlu dirancang hati-hati. AI dapat membantu membuat visualisasi, tetapi guru harus memeriksa akurasi representasi.

AI generatif visual perlu digunakan lebih hati-hati lagi. Model AI gambar dapat menghasilkan ilustrasi kimia yang estetis tetapi tidak ilmiah. Gambar molekul dapat memiliki valensi salah, geometri tidak tepat, atau struktur yang tidak mungkin. Gambar laboratorium dapat menampilkan alat yang tidak sesuai atau prosedur tidak aman. Karena itu, dalam pembelajaran kimia, gambar AI tidak boleh digunakan hanya karena menarik. Gambar harus divalidasi berdasarkan konsep kimia dan standar keselamatan.

Miskonsepsi juga dapat diperkuat oleh AI berbasis teks jika pengguna tidak kritis. Model bahasa besar dapat menghasilkan penjelasan kimia yang tampak ilmiah tetapi salah. Misalnya, AI dapat menyatakan bahwa “semakin banyak katalis, kesetimbangan bergeser lebih cepat ke produk” atau “ikatan hidrogen adalah ikatan kovalen antara hidrogen dan oksigen pada molekul air”. Jika guru atau siswa menerima jawaban semacam itu tanpa verifikasi, AI justru menjadi sumber miskonsepsi baru. Oleh karena itu, literasi AI menjadi bagian penting dari pencegahan miskonsepsi.

Dalam mata kuliah ini, mahasiswa calon guru kimia perlu dilatih untuk menggunakan AI sebagai alat **mendeteksi sekaligus mengkritisi miskonsepsi**. Salah satu tugas yang dapat diberikan adalah meminta mahasiswa menghasilkan penjelasan AI tentang suatu topik, lalu menganalisis kemungkinan kesalahan konsep dalam penjelasan tersebut. Tugas lain adalah meminta AI membuat daftar miskonsepsi umum, lalu mahasiswa memverifikasi daftar tersebut dengan literatur pendidikan kimia. Dengan cara ini, mahasiswa tidak hanya menggunakan AI sebagai pemberi jawaban, tetapi sebagai bahan evaluasi kritis.

Miskonsepsi juga dapat dianalisis melalui peta konsep. Peserta didik diminta membuat peta konsep tentang suatu topik, misalnya asam-basa, ikatan kimia, atau kesetimbangan. Guru kemudian melihat hubungan antar konsep yang dibuat siswa. AI dapat membantu membaca pola umum atau memberi saran kategori kesalahan, tetapi guru tetap perlu memeriksa hubungan konseptual. Peta konsep sangat berguna karena miskonsepsi sering muncul bukan hanya pada definisi tunggal, tetapi pada hubungan antar konsep.

Dalam pembelajaran berbasis proyek, miskonsepsi dapat muncul ketika siswa menerapkan konsep pada konteks nyata. Misalnya, dalam proyek baterai sederhana, siswa dapat salah memahami

bahwa garam dalam jembatan garam menyediakan elektron. Dalam proyek pengolahan air, siswa dapat salah memahami koagulasi, adsorpsi, dan filtrasi. Dalam proyek pembuatan indikator alami, siswa dapat mengira semua perubahan warna menunjukkan reaksi kimia yang sama. Guru perlu menggunakan proyek bukan hanya sebagai produk kreatif, tetapi juga sebagai kesempatan mendiagnosis dan memperbaiki miskonsepsi.

AI dapat membantu guru menyusun rubrik yang memasukkan aspek miskonsepsi. Misalnya, dalam rubrik laporan praktikum, guru dapat menilai apakah siswa menjelaskan fenomena pada level partikel dengan benar. Dalam rubrik proyek, guru dapat menilai apakah siswa menggunakan konsep kimia secara tepat. Dalam rubrik presentasi, guru dapat menilai apakah siswa membedakan istilah yang sering membingungkan. Rubrik semacam ini membuat miskonsepsi lebih mudah diidentifikasi dan diperbaiki.

Miskonsepsi juga perlu ditangani dengan pendekatan yang tidak mempermalukan siswa. Peserta didik sering merasa takut salah dalam kimia. Jika miskonsepsi langsung diperlakukan sebagai kebodohan, siswa dapat defensif atau kehilangan motivasi. Guru perlu menjelaskan bahwa miskonsepsi adalah bagian normal dari proses belajar sains. Bahkan ilmuwan pun membangun model yang terus diperbaiki. Dengan suasana kelas yang aman, siswa lebih bersedia mengungkap pemahamannya. AI dapat membantu menyediakan pertanyaan anonim atau latihan mandiri, tetapi guru tetap membangun budaya kelas yang mendukung.

Dalam konteks meaningful learning, miskonsepsi harus diperbaiki dengan menghubungkan konsep baru ke struktur pengetahuan yang benar. Tidak cukup menghapus jawaban lama; siswa perlu membangun hubungan baru. Misalnya, untuk memperbaiki miskonsepsi tentang asam kuat dan asam pekat, guru perlu menghubungkan konsep konsentrasi, ionisasi, derajat disosiasi, konduktivitas, dan pH. Untuk memperbaiki miskonsepsi tentang kesetimbangan, guru perlu menghubungkan laju reaksi, reaksi balik, konsentrasi, dan tetapan kesetimbangan. AI dapat membantu menyusun jalur konseptual tersebut.

Dalam konteks mindful learning, siswa perlu diajak menyadari proses berpikirnya. Mereka perlu bertanya: “Mengapa saya berpikir demikian?”, “Bukti apa yang mendukung jawaban saya?”, “Apakah ada penjelasan lain?”, “Bagaimana model partikel menjelaskan fenomena ini?” AI dapat membantu membuat pertanyaan reflektif, tetapi refleksi harus benar-benar dilakukan oleh siswa. Tujuannya bukan menghasilkan teks refleksi yang rapi, tetapi membangun kesadaran konseptual.

Dalam konteks joyful learning, mengatasi miskonsepsi tidak harus dilakukan secara menegangkan. Guru dapat menggunakan permainan klasifikasi konsep, simulasi, eksperimen sederhana, komik konsep, atau debat ilmiah. Misalnya, siswa diminta berperan sebagai “ion”, “molekul air”, atau “elektron” untuk memperagakan proses tertentu. AI dapat membantu membuat skenario aktivitas kreatif. Namun, guru harus memastikan aktivitas menyenangkan tersebut tetap menyampaikan konsep yang benar.

Dengan demikian, miskonsepsi dalam pembelajaran kimia merupakan tantangan yang kompleks dan berlapis. Miskonsepsi dapat bersumber dari pengalaman sehari-hari, bahasa, model yang disederhanakan, representasi yang tidak lengkap, hafalan prosedural, kegagalan menghubungkan level makroskopik-submikroskopik-simbolik, serta penjelasan yang tidak tervalidasi. Miskonsepsi

terjadi pada berbagai topik, seperti struktur atom, ikatan kimia, gaya antarmolekul, stoikiometri, larutan, asam-basa, kesetimbangan, kinetika, termodinamika, elektrokimia, dan kimia organik. AI dapat membantu mendiagnosis, mengungkap, dan memperbaiki miskonsepsi melalui pertanyaan diagnostik, umpan balik, visualisasi, simulasi, dan bahan ajar adaptif. Namun, AI juga dapat menjadi sumber miskonsepsi baru jika tidak digunakan secara kritis. Karena itu, guru kimia tetap menjadi validator utama dalam penggunaan AI untuk pembelajaran.

Subbab berikutnya akan membahas **kebutuhan visualisasi molekul dan representasi partikel**. Pembahasan tersebut penting karena salah satu strategi utama untuk mengatasi abstraksi dan miskonsepsi kimia adalah menyediakan visualisasi yang tepat, akurat, dan pedagogis agar peserta didik dapat membangun model mental yang lebih sesuai dengan konsep ilmiah.

2.6 Kebutuhan Visualisasi Molekul dan Representasi Partikel

Visualisasi molekul dan representasi partikel merupakan kebutuhan mendasar dalam pembelajaran kimia karena sebagian besar konsep kimia bekerja pada level yang tidak dapat diamati secara langsung oleh indra. Peserta didik dapat melihat perubahan warna, terbentuknya endapan, munculnya gelembung gas, larutan menjadi panas, logam berkarat, atau zat padat melarut. Akan tetapi, mereka tidak dapat melihat secara langsung bagaimana ion bergerak dalam larutan, bagaimana molekul bertumbukan, bagaimana elektron terlibat dalam ikatan, bagaimana bentuk molekul memengaruhi polaritas, atau bagaimana partikel berada dalam keadaan kesetimbangan dinamis. Oleh karena itu, pembelajaran kimia memerlukan jembatan visual yang menghubungkan fenomena makroskopik dengan proses submikroskopik.

File deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia* menegaskan bahwa pembelajaran kimia memiliki karakteristik khusus karena melibatkan tiga level representasi, yaitu makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Dokumen tersebut juga menyebut bahwa konsep seperti struktur atom, ikatan kimia, bentuk molekul, kesetimbangan, termodinamika, kinetika reaksi, elektrokimia, kimia organik, dan kimia komputasi memerlukan visualisasi, pemodelan, simulasi, dan penalaran abstrak. Pernyataan ini menunjukkan bahwa visualisasi bukan unsur tambahan dalam pembelajaran kimia, melainkan bagian integral dari cara peserta didik membangun pemahaman kimia.

Visualisasi molekul dibutuhkan karena peserta didik harus membayangkan struktur yang sangat kecil dan tidak terlihat. Atom, ion, molekul, orbital, ikatan, pasangan elektron bebas, gaya antarmolekul, dan mekanisme reaksi tidak hadir sebagai objek konkret di hadapan siswa. Mereka hadir melalui model. Model tersebut dapat berupa gambar dua dimensi, struktur Lewis, model bola-batang, model ruang-isi, animasi, simulasi komputer, representasi orbital, diagram energi, atau visualisasi dinamis berbasis perangkat lunak. Tanpa model visual, banyak konsep kimia hanya menjadi istilah abstrak yang sulit dipahami.

Namun, visualisasi dalam kimia tidak boleh dianggap sebagai gambar penghias. Visualisasi kimia adalah representasi ilmiah. Artinya, setiap gambar, diagram, model, atau animasi harus membawa makna konsep tertentu. Gambar molekul air, misalnya, bukan sekadar menunjukkan satu atom oksigen dan dua atom hidrogen. Ia juga dapat menunjukkan bentuk bengkok molekul, pasangan elektron bebas pada oksigen, sudut ikatan, polaritas molekul, serta kemungkinan terbentuknya

ikatan hidrogen antar molekul. Jika visualisasi dibuat asal menarik tanpa akurasi ilmiah, maka visualisasi justru dapat memperkuat miskonsepsi.

Kebutuhan visualisasi paling jelas terlihat pada konsep **struktur atom**. Peserta didik sering diperkenalkan pada model atom Bohr karena mudah divisualisasikan: inti di tengah dan elektron pada lintasan tertentu. Model ini berguna pada tahap awal, tetapi berbahaya jika dipahami secara literal. Model atom modern menjelaskan elektron melalui orbital sebagai daerah probabilitas, bukan lintasan pasti. Oleh karena itu, visualisasi struktur atom harus menunjukkan perkembangan model dan batas masing-masing model. AI dapat membantu guru membuat perbandingan visual antara model Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, dan model mekanika kuantum, tetapi guru harus menjelaskan bahwa model bukan realitas langsung, melainkan alat konseptual.

Pada konsep **konfigurasi elektron**, visualisasi dapat membantu peserta didik memahami pengisian orbital, tingkat energi, subkulit, dan prinsip Aufbau. Tanpa visualisasi, konfigurasi elektron sering menjadi hafalan urutan 1s, 2s, 2p, 3s, dan seterusnya. Dengan diagram orbital, siswa dapat melihat bahwa orbital memiliki kapasitas tertentu, elektron memiliki spin, dan pengisian mengikuti aturan energi. Namun, visualisasi juga perlu dihubungkan dengan sifat periodik unsur agar tidak berhenti sebagai pola mekanis. AI dapat membantu membuat diagram atau narasi bertahap, tetapi urutan dan aturan harus divalidasi.

Pada konsep **ikatan kimia**, visualisasi molekul sangat penting. Ikatan ionik, kovalen, logam, koordinasi, dan gaya antarmolekul memerlukan representasi yang berbeda. Ikatan ionik lebih tepat divisualisasikan sebagai kisi ionik dengan gaya elektrostatik antara ion positif dan negatif, bukan sebagai pasangan molekul tunggal Na–Cl. Ikatan kovalen dapat divisualisasikan melalui pemakaian bersama pasangan elektron, struktur Lewis, atau model orbital. Ikatan logam dapat divisualisasikan melalui kisi kation logam dan elektron terdelokalisasi. Gaya antarmolekul perlu divisualisasikan sebagai interaksi antar molekul, bukan ikatan dalam molekul. Jika visualisasi ini tidak dibedakan, siswa mudah mencampuradukkan ikatan intramolekul dan antarmolekul.

Pada konsep **geometri molekul**, kebutuhan visualisasi menjadi sangat kuat karena siswa harus memahami bentuk tiga dimensi. Molekul CH_4, NH_3, dan H_2O tidak cukup dipahami dari rumus kimia. CH_4 berbentuk tetrahedral, NH_3 berbentuk piramida trigonal, sedangkan H_2O berbentuk bengkok. Perbedaan bentuk tersebut berkaitan dengan jumlah pasangan elektron ikatan dan pasangan elektron bebas. Visualisasi tiga dimensi membantu siswa memahami mengapa bentuk molekul berbeda walaupun sama-sama tersusun dari atom pusat dan atom-atom di sekitarnya. Tanpa visualisasi, teori VSEPR mudah berubah menjadi hafalan nama bentuk.

Pada konsep **polaritas molekul**, visualisasi juga sangat penting. Siswa sering mengira bahwa jika suatu molekul memiliki ikatan polar, maka molekulnya pasti polar. Padahal, polaritas molekul bergantung pada bentuk molekul dan resultan momen dipol. CO_2 memiliki ikatan C=O yang polar, tetapi molekulnya nonpolar karena bentuk linear membuat momen dipol saling meniadakan. H_2O memiliki ikatan O–H yang polar dan bentuk bengkok, sehingga resultan momen dipol tidak nol. Representasi visual membantu siswa memahami hubungan antara bentuk molekul dan polaritas secara lebih baik daripada definisi verbal saja.

Pada konsep **gaya antarmolekul**, visualisasi membantu membedakan ikatan dalam molekul dan gaya antar molekul. Misalnya, ketika air mendidih, ikatan kovalen O–H dalam molekul air tidak putus; yang diatasi adalah gaya antarmolekul, terutama ikatan hidrogen antar molekul air. Jika siswa tidak melihat representasi banyak molekul air yang saling berinteraksi, mereka mudah mengira bahwa pendidihan memutus ikatan O–H. Visualisasi partikel dapat membantu menunjukkan bahwa perubahan wujud terutama berkaitan dengan jarak, susunan, dan interaksi antarpartikel.

Pada konsep **larutan**, visualisasi partikel sangat diperlukan. Ketika NaCl larut dalam air, siswa perlu memahami bahwa kristal ionik terurai menjadi ion Na^+ dan Cl^-, lalu ion-ion tersebut terhidrasi oleh molekul air. Ketika gula larut, molekul gula tersebar di antara molekul air tetapi tidak membentuk ion. Perbedaan ini menjelaskan mengapa larutan garam menghantarkan listrik sedangkan larutan gula tidak. Tanpa representasi partikel, siswa dapat mengira semua zat yang larut mengalami proses yang sama. Visualisasi membantu membedakan pelarutan ionik, pelarutan molekuler, ionisasi, disosiasi, dan hidrasi.

Pada konsep **asam-basa**, visualisasi partikel membantu membedakan asam kuat, asam lemah, basa kuat, basa lemah, larutan pekat, dan larutan encer. HCl encer tetap merupakan asam kuat karena hampir seluruh molekulnya terionisasi, sedangkan CH_3COOH pekat tetap asam lemah karena hanya sebagian kecil molekulnya terionisasi. Representasi partikel dapat menunjukkan jumlah relatif ion dan molekul tak terionisasi. Visualisasi semacam ini membantu mengatasi miskonsepsi bahwa “asam kuat” sama dengan “asam pekat” atau “asam berbahaya”.

Pada konsep **kesetimbangan kimia**, visualisasi dinamis sangat dibutuhkan. Kesetimbangan tidak mudah dipahami jika hanya ditulis sebagai panah bolak-balik. Siswa perlu melihat atau membayangkan bahwa reaksi maju dan reaksi balik tetap berlangsung secara bersamaan. Pada keadaan setimbang, laju reaksi maju sama dengan laju reaksi balik, sehingga jumlah zat tampak konstan secara makroskopik. Simulasi partikel dapat membantu menunjukkan bahwa sistem tidak berhenti. Representasi dinamis seperti grafik konsentrasi terhadap waktu, animasi partikel, dan model tabrakan dapat memperkuat pemahaman.

Pada konsep **kinetika reaksi**, visualisasi membantu menjelaskan tumbukan efektif, energi aktivasi, distribusi energi partikel, orientasi tumbukan, dan fungsi katalis. Siswa perlu memahami bahwa tidak semua tumbukan menghasilkan reaksi. Partikel harus memiliki energi cukup dan orientasi yang tepat. Katalis menyediakan jalur reaksi alternatif dengan energi aktivasi lebih rendah. Diagram energi dan simulasi tumbukan dapat membantu siswa memahami konsep ini. Jika hanya dijelaskan secara verbal, siswa cenderung menghafal bahwa suhu, konsentrasi, luas permukaan, dan katalis memengaruhi laju reaksi tanpa memahami mekanisme partikelnya.

Pada konsep **termodinamika**, visualisasi energi dapat membantu, meskipun lebih sulit daripada visualisasi struktur. Diagram tingkat energi, diagram entalpi, distribusi energi, dan model penyebaran energi dapat membantu siswa memahami reaksi eksoterm, endoterm, entropi, dan energi bebas. Namun, visualisasi termodinamika harus hati-hati karena konsep seperti entropi sering disederhanakan secara berlebihan. Entropi tidak cukup dijelaskan sebagai “ketidakteraturan”, melainkan berkaitan dengan jumlah kemungkinan susunan mikro dan penyebaran energi. Visualisasi harus membantu, bukan mereduksi konsep secara keliru.

Pada konsep **elektrokimia**, visualisasi sangat penting karena topik ini menggabungkan reaksi redoks, aliran elektron, migrasi ion, elektroda, elektrolit, jembatan garam, dan potensial listrik. Siswa perlu melihat bahwa elektron mengalir melalui rangkaian luar, sedangkan ion bergerak dalam larutan atau jembatan garam untuk menjaga netralitas muatan. Mereka juga perlu membedakan sel volta dan sel elektrolisis. Visualisasi yang baik dapat mengurangi kebingungan tentang anode, katode, oksidasi, reduksi, arah elektron, dan arah arus.

Pada konsep **kimia organik**, visualisasi molekul membantu memahami struktur, isomer, stereokimia, gugus fungsi, dan mekanisme reaksi. Rumus molekul C_2H_6O dapat merepresentasikan etanol atau dimetil eter, dua senyawa dengan sifat berbeda. Tanpa visualisasi struktur, siswa sulit memahami isomer. Pada stereokimia, visualisasi tiga dimensi sangat penting untuk memahami pusat kiral, enansiomer, diastereomer, dan konfigurasi R/S. Pada mekanisme reaksi, panah lengkung menunjukkan pergerakan pasangan elektron, bukan perpindahan atom secara bebas. Visualisasi yang benar membantu siswa memahami reaktivitas organik secara konseptual.

Dalam konteks AI, kebutuhan visualisasi molekul dan representasi partikel menjadi semakin penting karena AI dapat membantu menghasilkan, menjelaskan, memodifikasi, dan mengevaluasi berbagai representasi. File deskripsi mata kuliah menyebut bahwa AI dapat digunakan untuk visualisasi konsep kimia, simulasi eksperimen, virtual laboratory, animasi molekul, peta konsep, infografik, dan media pembelajaran. Dengan demikian, AI dapat menjadi alat bantu yang kuat untuk mengembangkan representasi kimia yang lebih kaya dan adaptif.

AI dapat membantu guru membuat **deskripsi visual** untuk media pembelajaran. Misalnya, guru dapat meminta AI menyusun naskah animasi tentang pelarutan NaCl dalam air, mulai dari kristal garam, orientasi molekul air, pemisahan ion, hingga terbentuknya ion terhidrasi. AI juga dapat membantu membuat skenario visual reaksi pengendapan, dinamika kesetimbangan, atau aliran elektron dalam sel volta. Deskripsi visual ini dapat digunakan sebagai dasar pembuatan slide, infografik, animasi, atau simulasi.

AI juga dapat membantu membuat **prompt gambar atau animasi** untuk kebutuhan pembelajaran. Misalnya, guru dapat membuat prompt untuk menggambarkan geometri molekul CH_4, NH_3, dan H_2O dalam satu panel pembelajaran. Namun, penggunaan AI generatif gambar harus sangat hati-hati karena model visual umum tidak selalu memahami aturan valensi, geometri molekul, atau konvensi kimia. Gambar AI perlu diperiksa. Jika terdapat jumlah ikatan yang salah, sudut yang tidak wajar, simbol unsur keliru, atau representasi partikel yang membingungkan, gambar tersebut tidak layak digunakan.

AI juga dapat membantu menghasilkan **peta representasi partikel**. Guru dapat meminta AI membuat tabel yang menghubungkan fenomena makroskopik, penjelasan partikel, simbol kimia, dan kemungkinan miskonsepsi. Misalnya, pada topik elektrolit, tabel dapat memuat pengamatan lampu menyala, ion bergerak bebas dalam larutan, persamaan disosiasi, dan miskonsepsi “elektron bergerak dalam larutan”. Tabel semacam ini membantu guru merancang pembelajaran yang lebih sistematis dan mengantisipasi kesulitan siswa.

AI juga dapat membantu membuat **pertanyaan berbasis visualisasi**. Pertanyaan semacam ini meminta siswa menafsirkan gambar partikel, membandingkan dua model, mengidentifikasi

kesalahan dalam diagram, atau mengubah representasi partikel menjadi persamaan simbolik. Misalnya, siswa diberi gambar partikel larutan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit, lalu diminta menjelaskan perbedaannya. AI dapat membantu membuat variasi pertanyaan, tetapi gambar dan jawabannya tetap harus divalidasi.

AI dapat mendukung **virtual laboratory** yang menggabungkan fenomena makroskopik dengan representasi partikel. Dalam laboratorium virtual yang baik, siswa tidak hanya mengklik alat dan melihat hasil, tetapi juga memahami proses partikel yang menjelaskan hasil tersebut. Misalnya, dalam simulasi titrasi asam-basa, siswa dapat melihat perubahan pH, kurva titrasi, warna indikator, serta representasi ion dalam larutan. Dalam simulasi kesetimbangan, siswa dapat melihat perubahan konsentrasi, warna larutan, dan dinamika partikel. AI dapat membantu memberikan umpan balik adaptif berdasarkan tindakan siswa.

Namun, terdapat risiko penting dalam penggunaan visualisasi berbasis AI. Risiko pertama adalah **representasi yang tampak ilmiah tetapi salah**. Gambar yang indah dan beresolusi tinggi tidak menjamin kebenaran. Dalam kimia, visualisasi harus mematuhi konsep valensi, geometri, muatan, ikatan, fase, skala, dan konteks. Risiko kedua adalah **over-simplification**, yaitu penyederhanaan berlebihan. Misalnya, menggambarkan elektron sebagai bola kecil yang mengorbit inti dapat membantu pengantar, tetapi dapat menyesatkan jika tidak diberi batas model. Risiko ketiga adalah **misleading analogy**, yaitu analogi visual yang membuat siswa memahami konsep secara keliru.

Risiko keempat adalah **campur aduk level representasi**. Kadang media visual mencampurkan fenomena makroskopik dan submikroskopik tanpa penjelasan. Misalnya, gambar dapat menampilkan molekul berwarna seperti benda makroskopik atau menggambarkan ion dengan ukuran tidak proporsional. Penyederhanaan ini boleh dilakukan untuk tujuan pedagogis, tetapi guru harus menjelaskan bahwa ukuran, warna, dan jarak dalam model bukan representasi skala sebenarnya. Jika tidak dijelaskan, siswa dapat mengira model adalah realitas literal.

Risiko kelima adalah **beban kognitif visual**. Visualisasi yang terlalu padat dapat membingungkan. Animasi yang terlalu cepat dapat membuat siswa kehilangan fokus. Gambar yang memuat terlalu banyak label dapat mengalihkan perhatian dari konsep inti. Oleh karena itu, visualisasi perlu dirancang bertahap. Dalam pembelajaran, lebih baik menyajikan representasi sederhana terlebih dahulu, lalu menambahkan kompleksitas secara perlahan. AI dapat membantu membuat variasi tingkat kesulitan visual, tetapi guru harus memilih urutan yang tepat.

Agar visualisasi molekul efektif, guru perlu memperhatikan beberapa prinsip. Pertama, visualisasi harus memiliki tujuan konseptual yang jelas. Guru harus tahu konsep apa yang ingin ditunjukkan. Kedua, visualisasi harus akurat secara ilmiah. Ketiga, visualisasi harus sesuai dengan jenjang peserta didik. Keempat, visualisasi harus menjelaskan hubungan antara level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Kelima, visualisasi harus disertai pertanyaan pemandu. Keenam, guru harus menjelaskan batas model. Ketujuh, siswa harus diberi kesempatan menafsirkan visualisasi, bukan hanya melihatnya secara pasif.

Dalam konteks pembelajaran berbantuan AI, guru dapat menggunakan prinsip **visualization with explanation**. Artinya, visualisasi tidak diberikan sendirian, tetapi disertai narasi konseptual, pertanyaan reflektif, dan aktivitas interpretasi. Misalnya, ketika menampilkan visualisasi ikatan

hidrogen antar molekul air, guru dapat bertanya: “Ikatan mana yang berada dalam molekul?”, “Interaksi mana yang terjadi antar molekul?”, “Apa yang terjadi pada interaksi ini ketika air mendidih?”, “Apakah ikatan O–H putus saat air menguap?” Pertanyaan seperti ini membantu siswa memahami visualisasi secara aktif.

Guru juga dapat menerapkan prinsip **student-generated representation**. Peserta didik tidak hanya melihat visualisasi, tetapi diminta membuat representasi sendiri. Mereka dapat menggambar partikel sebelum dan sesudah pelarutan, membuat diagram ion dalam larutan, menggambar bentuk molekul, atau membuat peta representasi reaksi. AI dapat membantu memberi umpan balik awal terhadap representasi siswa, tetapi guru tetap memeriksa keakuratan. Aktivitas membuat representasi membantu guru melihat model mental siswa dan mengidentifikasi miskonsepsi.

AI dapat membantu dalam aktivitas **membandingkan representasi**. Misalnya, siswa diberi dua gambar partikel larutan elektrolit: satu benar dan satu salah. Mereka diminta menjelaskan mana yang benar dan mengapa. AI dapat membantu membuat variasi soal semacam ini. Aktivitas membandingkan representasi sangat bermanfaat karena siswa belajar tidak hanya menerima gambar, tetapi menilai kualitas representasi berdasarkan konsep kimia.

Visualisasi molekul juga dapat mendukung pembelajaran diferensiasi. Siswa yang masih kesulitan dapat diberi visualisasi sederhana dan pertanyaan dasar. Siswa yang lebih maju dapat diberi visualisasi lebih kompleks, seperti orbital molekul, permukaan potensial elektrostatik, atau mekanisme reaksi organik. AI dapat membantu guru membuat versi materi yang berbeda untuk kebutuhan belajar yang berbeda. Namun, diferensiasi harus tetap menjaga akurasi dan tidak menurunkan kedalaman konsep secara berlebihan.

Dalam pendidikan calon guru, kemampuan memilih dan mengevaluasi visualisasi harus menjadi bagian dari kompetensi profesional. Calon guru tidak cukup mampu membuat gambar menarik. Mereka harus mampu menjawab: apakah visualisasi ini benar secara kimia? Apakah sesuai dengan tujuan pembelajaran? Apakah dapat menimbulkan miskonsepsi? Apakah level representasinya jelas? Apakah simbol yang digunakan tepat? Apakah siswa diberi kesempatan menafsirkan? Apakah model ini memiliki batas yang perlu dijelaskan?

Produk akhir mata kuliah sebagaimana disebut dalam file deskripsi mencakup media visual atau simulasi berbasis AI, bahan ajar, LKPD, paket soal, rubrik, analisis miskonsepsi, dan refleksi etika. Oleh sebab itu, calon guru perlu dilatih membuat media visual berbasis AI yang tidak hanya indah, tetapi juga valid, pedagogis, dan aman digunakan. Mereka juga perlu menyertakan catatan validasi: sumber konsep, alasan pemilihan representasi, batas model, dan potensi miskonsepsi yang harus diantisipasi.

Dalam riset pendidikan kimia, visualisasi molekul dan representasi partikel telah lama dikaji karena berhubungan dengan pemahaman konseptual. Visualisasi dapat meningkatkan pemahaman jika digunakan dengan benar, tetapi tidak otomatis efektif. Efektivitasnya bergantung pada desain, panduan guru, interaktivitas, kemampuan siswa membaca representasi, dan integrasi dengan aktivitas pembelajaran. Kajian tentang representasi dalam pendidikan kimia menegaskan bahwa representasi eksternal perlu membantu siswa membangun representasi internal yang lebih sesuai dengan konsep ilmiah. (link.springer.com)

Dalam konteks AI, riset lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui bagaimana visualisasi berbasis AI memengaruhi pemahaman siswa. Pertanyaan pentingnya antara lain: apakah gambar AI membantu atau menambah miskonsepsi? Bagaimana siswa menafsirkan visualisasi molekul yang dihasilkan AI? Apa kriteria validasi media visual berbantuan AI? Bagaimana AI dapat membantu guru membuat visualisasi yang sesuai dengan tiga level representasi? Pertanyaan-pertanyaan ini penting karena AI visual berkembang cepat, tetapi belum semua penerapannya aman secara pedagogis.

Dari sisi etika, penggunaan visualisasi berbasis AI juga perlu memperhatikan hak cipta, atribusi, dan transparansi. Jika guru menggunakan gambar yang dihasilkan AI, perlu diperhatikan kebijakan platform dan lisensi penggunaan. Jika gambar digunakan dalam bahan ajar, sebaiknya diberi catatan bahwa gambar merupakan ilustrasi konseptual dan telah divalidasi secara kimia. Jika visualisasi hanya bersifat model, perlu dijelaskan bahwa ukuran, warna, dan jarak tidak menunjukkan skala sebenarnya. Transparansi ini membantu menjaga integritas akademik dan mencegah salah tafsir.

Visualisasi molekul dan representasi partikel juga berperan dalam membangun literasi kimia yang lebih luas. Siswa yang mampu membaca representasi partikel akan lebih mudah memahami fenomena lingkungan, pangan, kesehatan, energi, dan material. Mereka dapat memahami mengapa deterjen bekerja, mengapa baterai menghasilkan listrik, mengapa plastik memiliki sifat berbeda, mengapa obat berinteraksi dengan tubuh, atau mengapa polutan tertentu berbahaya. Dengan demikian, visualisasi bukan hanya alat belajar topik tertentu, tetapi jembatan menuju pemahaman kimia dalam kehidupan.

Dalam desain pembelajaran, guru dapat mengembangkan alur visualisasi sebagai berikut. Pertama, tampilkan fenomena makroskopik. Kedua, ajukan pertanyaan prediksi: “Apa yang mungkin terjadi pada partikel?” Ketiga, tampilkan representasi partikel sederhana. Keempat, minta siswa menjelaskan hubungan dengan fenomena. Kelima, hubungkan dengan simbol atau persamaan. Keenam, berikan kasus baru agar siswa menerapkan representasi. Ketujuh, gunakan AI untuk memberi variasi contoh atau latihan. Kedelapan, lakukan refleksi tentang batas model. Alur ini membuat visualisasi menjadi bagian dari proses berpikir, bukan sekadar tontonan.

Sebagai contoh, pada pembelajaran kelarutan, guru dapat menunjukkan video garam larut dalam air. Siswa diminta memprediksi apa yang terjadi pada partikel. Kemudian guru menampilkan representasi ion Na^+ dan Cl^- yang terhidrasi molekul air. Setelah itu, siswa menulis persamaan disosiasi. AI dapat membantu membuat pertanyaan lanjutan seperti: “Mengapa gula larut tetapi tidak menghantarkan listrik?”, “Apa perbedaan partikel dalam larutan NaCl dan larutan sukrosa?”, “Bagaimana cara menggambar larutan elektrolit kuat?” Dengan cara ini, visualisasi, simbol, dan penalaran saling terhubung.

Pada pembelajaran geometri molekul, guru dapat meminta siswa membangun model menggunakan kit sederhana atau aplikasi digital. AI dapat membantu menjelaskan perbedaan bentuk CH_4, NH_3, dan H_2O berdasarkan pasangan elektron bebas. Setelah melihat visualisasi, siswa diminta menggambar struktur Lewis dan menentukan polaritas. Guru kemudian menanyakan mengapa CO_2 nonpolar sedangkan H_2O polar. Aktivitas ini menghubungkan struktur, bentuk, polaritas, dan sifat.

Pada pembelajaran elektrokimia, guru dapat menggunakan visualisasi sel volta yang menunjukkan elektroda, larutan, jembatan garam, arah elektron, dan migrasi ion. AI dapat membantu membuat narasi bertahap tentang proses yang terjadi. Siswa kemudian diminta mengidentifikasi anode, katode, reaksi oksidasi, reaksi reduksi, dan arah aliran elektron. Guru perlu menekankan bahwa elektron tidak bergerak melalui larutan, tetapi melalui kawat luar. Penekanan seperti ini penting untuk mencegah miskonsepsi.

Dengan demikian, kebutuhan visualisasi molekul dan representasi partikel dalam pembelajaran kimia sangat mendasar. Kimia tidak dapat dipahami hanya melalui teks dan rumus karena banyak konsepnya berada pada level submikroskopik. Visualisasi membantu peserta didik membangun model mental, menghubungkan fenomena dengan partikel, memahami simbol, dan mengurangi miskonsepsi. AI dapat memperkuat visualisasi melalui deskripsi, media, simulasi, animasi, pertanyaan diagnostik, dan bahan ajar adaptif. Namun, visualisasi berbasis AI harus selalu divalidasi karena kesalahan representasi dapat menyesatkan. Guru kimia tetap menjadi pengarah, validator, dan penafsir utama agar visualisasi benar-benar menjadi alat belajar yang ilmiah, bermakna, reflektif, dan menyenangkan.

Subbab berikutnya akan membahas **eksperimen, data, dan penalaran ilmiah dalam kimia**. Pembahasan tersebut penting karena setelah memahami kebutuhan visualisasi partikel, pembelajaran kimia juga harus kembali pada basis empirisnya: pengamatan, praktikum, pengukuran, analisis data, dan argumentasi ilmiah yang menjadi inti kimia sebagai ilmu eksperimental.

2.7 Eksperimen, Data, dan Penalaran Ilmiah dalam Kimia

Kimia adalah ilmu eksperimental. Artinya, pengetahuan kimia tidak hanya dibangun melalui definisi, rumus, atau penalaran teoritis, tetapi juga melalui pengamatan, pengukuran, percobaan, pengujian hipotesis, analisis data, dan argumentasi berbasis bukti. Dalam kimia, konsep seperti reaksi, larutan, kalor, kesetimbangan, elektrokimia, laju reaksi, sifat zat, struktur molekul, dan perubahan energi memperoleh makna ilmiah karena dapat dikaitkan dengan fenomena empiris. Oleh karena itu, pembelajaran kimia yang baik harus memberi ruang bagi peserta didik untuk mengalami proses ilmiah, bukan hanya menerima hasil akhir ilmu kimia sebagai kumpulan informasi.

File deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia* menempatkan eksperimen dan data sebagai bagian penting dari pembelajaran kimia. Dokumen tersebut menyebut bahwa pembelajaran kimia memerlukan eksperimen virtual, pembelajaran berbasis data, simulasi laboratorium, prosedur eksperimen, analisis data praktikum, keselamatan kerja, alternatif alat-bahan sederhana, dan pengembangan LKPD praktikum berbasis inkuiri. Dengan demikian, dalam konteks mata kuliah ini, AI tidak boleh hanya dipahami sebagai alat penghasil teks, tetapi juga sebagai alat bantu untuk memperkuat budaya eksperimen, analisis data, dan penalaran ilmiah dalam pembelajaran kimia.

Eksperimen memiliki kedudukan penting karena memberikan dasar empiris bagi konsep kimia. Ketika peserta didik mempelajari reaksi pengendapan, mereka tidak cukup hanya membaca persamaan reaksi. Mereka perlu melihat bagaimana dua larutan jernih dapat menghasilkan

padatan. Ketika mempelajari reaksi eksoterm dan endoterm, mereka tidak cukup menghafal tanda ΔH. Mereka perlu merasakan atau mengukur perubahan suhu. Ketika mempelajari elektrolit, mereka tidak cukup menghafal bahwa larutan garam menghantarkan listrik. Mereka perlu mengamati nyala lampu atau membaca nilai konduktivitas. Pengalaman empiris semacam ini membantu peserta didik memahami bahwa konsep kimia memiliki dasar realitas.

Namun, eksperimen dalam pembelajaran kimia bukan sekadar kegiatan "mencampur bahan" atau "mengikuti prosedur". Praktikum yang baik harus mengembangkan penalaran ilmiah. Peserta didik perlu memahami tujuan percobaan, variabel yang dikendalikan, alat dan bahan yang digunakan, alasan setiap langkah prosedur, data yang dikumpulkan, cara menganalisis data, sumber kesalahan, serta hubungan hasil eksperimen dengan konsep kimia. Jika praktikum hanya dilakukan sebagai kegiatan mekanis untuk mengisi tabel, maka nilai ilmiahnya berkurang. Siswa mungkin senang melakukan percobaan, tetapi tidak otomatis memahami konsep.

Dalam pendidikan kimia, terdapat perbedaan penting antara praktikum konfirmasi dan praktikum inkuiri. Praktikum konfirmasi biasanya digunakan untuk membuktikan konsep yang telah dijelaskan guru. Misalnya, setelah belajar larutan elektrolit, siswa melakukan uji daya hantar larutan. Praktikum ini berguna, tetapi sering memiliki hasil yang sudah diketahui sejak awal. Praktikum inkuiri memberi ruang lebih besar kepada siswa untuk merumuskan pertanyaan, membuat prediksi, menentukan variabel, mengumpulkan data, dan menarik kesimpulan. Studi tentang argumentasi di laboratorium kimia menunjukkan bahwa eksperimen berbasis inkuiri dapat menghasilkan diskursus argumentatif yang lebih kaya dibanding eksperimen konfirmatori.

Dalam pembelajaran kimia modern, praktikum sebaiknya tidak hanya menekankan "hasil benar", tetapi juga proses berpikir. Siswa perlu belajar bahwa data eksperimen dapat mengandung variasi, ketidakpastian, dan kesalahan. Jika hasil praktikum berbeda dari teori, siswa tidak boleh langsung menyimpulkan bahwa teorinya salah atau praktikumnya gagal. Mereka perlu menganalisis kemungkinan sumber kesalahan: alat tidak bersih, pengukuran tidak tepat, suhu tidak terkontrol, konsentrasi larutan berubah, reaksi belum selesai, indikator kurang sesuai, atau pembacaan skala kurang teliti. Proses ini membangun penalaran ilmiah yang jauh lebih penting daripada sekadar memperoleh angka yang cocok dengan buku.

Data merupakan inti dari eksperimen kimia. Data dapat berupa pengamatan kualitatif, seperti warna, bau, wujud, endapan, gas, atau perubahan tekstur. Data juga dapat berupa pengukuran kuantitatif, seperti massa, volume, suhu, waktu, pH, absorbansi, konduktivitas, tekanan, potensial listrik, atau konsentrasi. Dalam pembelajaran kimia, peserta didik harus belajar membedakan data mentah, data terolah, hasil perhitungan, grafik, interpretasi, dan kesimpulan. Kesalahan umum terjadi ketika siswa langsung melompat dari data ke kesimpulan tanpa analisis yang memadai.

Sebagai contoh, dalam percobaan laju reaksi antara natrium tiosulfat dan asam klorida, siswa mungkin mencatat waktu yang diperlukan hingga tanda silang di bawah gelas tidak terlihat. Data mentahnya adalah waktu. Data tersebut kemudian dapat diolah menjadi ukuran laju reaksi relatif. Siswa perlu membuat grafik hubungan konsentrasi dengan laju, lalu menafsirkan tren. Jika siswa hanya menulis "semakin pekat semakin cepat" tanpa menunjukkan data dan alasan, penalaran ilmiahnya masih lemah. Guru perlu membimbing siswa menghubungkan data, pola, konsep tumbukan, dan kesimpulan.

Dalam praktikum asam-basa, data dapat berupa volume titran, pH, atau perubahan warna indikator. Siswa harus memahami bahwa titik akhir titrasi tidak selalu sama persis dengan titik ekuivalen, bahwa pembacaan buret memerlukan ketelitian, dan bahwa pengulangan diperlukan untuk memperoleh data yang lebih dapat dipercaya. Dalam praktikum termokimia, siswa perlu memahami bahwa kalor yang diukur dapat dipengaruhi oleh kehilangan panas ke lingkungan, kalorimeter yang tidak ideal, atau ketidaktepatan pembacaan suhu. Dalam praktikum elektrokimia, siswa perlu memahami bahwa potensial sel dipengaruhi oleh konsentrasi, suhu, kondisi elektroda, dan hambatan internal. Semua ini menunjukkan bahwa data kimia harus ditafsirkan secara kritis.

Penalaran ilmiah dalam kimia mencakup kemampuan menghubungkan klaim, bukti, dan alasan. Siswa tidak cukup menyatakan "larutan NaCl adalah elektrolit kuat". Mereka perlu menyertakan bukti, misalnya lampu menyala terang atau nilai konduktivitas tinggi. Mereka juga perlu memberikan alasan, yaitu NaCl terdisosiasi menjadi ion Na^+ dan Cl^- yang bergerak bebas dalam larutan sehingga dapat menghantarkan arus listrik. Struktur ini sejalan dengan model argumentasi ilmiah yang menekankan hubungan antara klaim, bukti, dan penalaran. Dalam pembelajaran laboratorium, kemampuan membangun argumen berbasis data merupakan salah satu indikator penting literasi sains.

Studi dalam *Journal of Chemical Education* tentang argument-driven inquiry di laboratorium kimia menunjukkan bahwa pendekatan laboratorium berbasis argumentasi dapat digunakan untuk mengkaji kualitas argumentasi siswa dan pemahaman mereka tentang data serta bukti. Hal ini penting karena pembelajaran kimia sering kali hanya meminta siswa menulis kesimpulan tanpa menilai bagaimana mereka menggunakan data sebagai bukti. Padahal, dalam sains, kesimpulan harus lahir dari interpretasi data yang dapat dipertanggungjawabkan.

AI dapat membantu memperkuat penalaran ilmiah jika digunakan dengan benar. AI dapat membantu guru menyusun pertanyaan pra-laboratorium, membuat prediksi, merancang tabel data, menyusun rubrik argumentasi, atau memberi umpan balik terhadap laporan praktikum. AI juga dapat membantu siswa memahami cara mengolah data, membuat grafik, menghitung rata-rata, mengenali tren, atau menuliskan hubungan antara data dan konsep. Namun, AI tidak boleh menggantikan proses berpikir siswa. Jika AI langsung membuat analisis dan kesimpulan laporan praktikum, siswa kehilangan kesempatan belajar menalar dari data.

Dalam konteks pembelajaran berbasis AI, guru dapat menggunakan AI sebagai **asisten pra-laboratorium**. Sebelum praktikum, AI dapat membantu membuat pertanyaan orientasi: apa tujuan percobaan, konsep apa yang digunakan, variabel apa yang terlibat, data apa yang harus dikumpulkan, dan risiko keselamatan apa yang perlu diperhatikan. Misalnya, sebelum praktikum titrasi asam-basa, siswa dapat diminta menjawab pertanyaan tentang fungsi indikator, cara membaca buret, alasan titrasi dilakukan perlahan mendekati titik akhir, dan perbedaan titik akhir serta titik ekuivalen. AI dapat membantu menyusun pertanyaan semacam ini, tetapi guru harus memvalidasi isi dan memastikan sesuai prosedur laboratorium.

AI juga dapat berperan sebagai **asisten analisis data**. Setelah praktikum, siswa dapat menggunakan AI untuk meminta panduan bagaimana mengolah data, tetapi bukan meminta jawaban akhir. Misalnya, siswa dapat bertanya: "Langkah apa yang perlu dilakukan untuk menghitung konsentrasi larutan asam dari data titrasi?" AI dapat memberi urutan umum:

menghitung mol basa, menggunakan perbandingan stoikiometri, menentukan mol asam, lalu menghitung konsentrasi. Namun, siswa tetap harus memasukkan data, melakukan perhitungan, dan menjelaskan maknanya. Guru dapat membuat aturan bahwa AI boleh memberi panduan langkah, tetapi tidak boleh menuliskan seluruh analisis laporan.

AI dapat membantu membuat **rubrik laporan praktikum**. Rubrik yang baik tidak hanya menilai format laporan, tetapi juga kualitas tujuan, dasar teori, prosedur, tabel data, analisis, grafik, pembahasan, sumber kesalahan, kesimpulan, dan keselamatan. Guru dapat meminta AI menyusun rubrik awal, kemudian memperbaikinya. Rubrik dapat memasukkan indikator penalaran ilmiah, misalnya: kesimpulan didukung data, interpretasi sesuai konsep, sumber kesalahan dijelaskan secara spesifik, dan klaim tidak melebihi bukti. Dengan rubrik semacam ini, laporan praktikum menjadi sarana membangun argumentasi ilmiah.

AI juga dapat membantu siswa memahami **ketidakpastian dan kesalahan eksperimen**. Banyak siswa menulis sumber kesalahan secara umum, seperti "kurang teliti" atau "alat kurang akurat", tanpa menjelaskan dampaknya terhadap hasil. Guru dapat menggunakan AI untuk membuat pertanyaan pemandu: "Jika volume titran terbaca lebih besar dari seharusnya, bagaimana pengaruhnya terhadap konsentrasi yang dihitung?", "Jika kalor hilang ke lingkungan, apakah nilai ΔH yang diperoleh menjadi terlalu kecil atau terlalu besar?", "Jika elektroda tidak bersih, bagaimana pengaruhnya terhadap potensial sel?" Pertanyaan seperti ini membantu siswa berpikir kausal, bukan sekadar menulis daftar kesalahan.

Eksperimen kimia juga menuntut pemahaman tentang **variabel**. Variabel bebas adalah faktor yang diubah, variabel terikat adalah hasil yang diukur, sedangkan variabel kontrol adalah faktor yang dijaga tetap. Dalam praktikum laju reaksi, misalnya, jika konsentrasi menjadi variabel bebas, maka suhu, volume, jenis zat, dan luas permukaan harus dikontrol. Banyak siswa kesulitan membedakan variabel, terutama dalam eksperimen yang kompleks. AI dapat membantu guru membuat latihan identifikasi variabel dari berbagai skenario kimia. Namun, skenario harus diperiksa agar realistis dan aman.

Dalam pembelajaran berbasis inkuiri, siswa perlu merumuskan pertanyaan penelitian sederhana. Misalnya, "Bagaimana pengaruh konsentrasi asam terhadap laju reaksi dengan magnesium?", "Bagaimana pengaruh suhu terhadap kelarutan garam?", "Bagaimana pengaruh jenis larutan terhadap daya hantar listrik?" AI dapat membantu siswa memperbaiki pertanyaan agar lebih terukur dan dapat diuji. Namun, guru harus memastikan pertanyaan tersebut sesuai fasilitas, waktu, keselamatan, dan jenjang peserta didik. AI tidak boleh menyarankan eksperimen berbahaya atau menggunakan bahan yang tidak layak untuk sekolah.

Keselamatan kerja merupakan bagian tak terpisahkan dari eksperimen kimia. Setiap praktikum harus memperhatikan bahan kimia, alat pelindung diri, ventilasi, limbah, risiko reaksi, dan prosedur darurat. AI dapat membantu membuat daftar K3 awal, tetapi guru tidak boleh mengandalkan AI sebagai satu-satunya sumber keselamatan. Data keselamatan bahan harus mengacu pada sumber resmi seperti SDS atau pedoman laboratorium yang kredibel. Kesalahan AI dalam prosedur keselamatan dapat berakibat serius. Oleh karena itu, penggunaan AI dalam desain praktikum harus selalu disertai validasi oleh guru atau laboran yang kompeten.

Virtual laboratory menjadi salah satu alternatif ketika praktikum nyata sulit dilakukan. Laboratorium virtual dapat membantu siswa memahami prosedur, mengamati simulasi fenomena, mengulang percobaan, dan menguji variabel tanpa risiko langsung. Kajian tentang virtual chemistry laboratories dalam *Journal of Chemical Education* menunjukkan bahwa laboratorium virtual dapat membantu siswa mempersiapkan dan mempraktikkan kerja eksperimen, meskipun pengembangannya perlu memperhatikan realisme, fleksibilitas, dan fitur yang lebih umum. Ini menunjukkan bahwa virtual laboratory berguna, tetapi tidak boleh dipahami sebagai pengganti total laboratorium nyata.

AI dapat memperkaya virtual laboratory melalui umpan balik adaptif. Misalnya, jika siswa salah memilih indikator dalam simulasi titrasi, sistem dapat memberi petunjuk. Jika siswa mengubah dua variabel sekaligus dalam percobaan laju reaksi, sistem dapat mengingatkan bahwa eksperimen menjadi sulit ditafsirkan. Jika siswa menarik kesimpulan tanpa data cukup, sistem dapat meminta siswa meninjau tabel data. Dengan demikian, AI dapat membantu virtual laboratory menjadi lebih dialogis dan reflektif. Namun, desain seperti ini membutuhkan validasi pedagogis dan ilmiah.

Pembelajaran kimia berbasis eksperimen juga harus mengembangkan **literasi data**. Peserta didik perlu memahami bahwa data tidak berbicara sendiri. Data harus dipilih, disusun, dianalisis, divisualisasikan, dan ditafsirkan. Grafik bukan sekadar gambar, tetapi representasi hubungan antarvariabel. Rata-rata bukan sekadar operasi matematika, tetapi cara memperkirakan nilai yang lebih stabil dari pengukuran berulang. Penyimpangan data bukan selalu kegagalan, tetapi dapat menjadi petunjuk adanya kesalahan sistematis atau fenomena yang belum dipahami. AI dapat membantu menjelaskan konsep literasi data ini dengan contoh kimia.

Dalam pembelajaran berbasis data, guru dapat menggunakan AI untuk membuat **dataset praktikum tiruan** yang realistis untuk latihan analisis, terutama jika praktikum belum dilakukan. Misalnya, dataset pH selama titrasi, perubahan massa pada reaksi, suhu terhadap waktu pada kalorimetri, atau absorbansi terhadap konsentrasi pada hukum Beer-Lambert. Namun, guru harus menyatakan bahwa data tersebut simulatif. Data simulatif berguna untuk latihan, tetapi tidak menggantikan pengalaman mengumpulkan data nyata. Siswa perlu memahami perbedaan antara data hasil eksperimen dan data yang dibuat untuk latihan.

AI juga dapat membantu siswa membangun **argumentasi ilmiah** dari data. Guru dapat meminta siswa menulis klaim berdasarkan hasil praktikum, lalu menggunakan AI sebagai alat bantu untuk memeriksa apakah klaim sudah didukung bukti. Namun, penggunaan AI perlu diarahkan. Siswa dapat diminta menanyakan: "Apakah klaim saya sudah didukung oleh data berikut?" bukan "Tuliskan pembahasan laporan praktikum saya." Dengan prompt yang tepat, AI membantu refleksi argumentatif, bukan mengambil alih pekerjaan berpikir.

Dalam konteks kimia, penalaran ilmiah mencakup beberapa kemampuan utama. Pertama, kemampuan mengamati secara teliti. Kedua, kemampuan mengklasifikasi fenomena. Ketiga, kemampuan mengidentifikasi variabel. Keempat, kemampuan membuat prediksi berdasarkan teori. Kelima, kemampuan merancang eksperimen. Keenam, kemampuan mengumpulkan dan mengolah data. Ketujuh, kemampuan menafsirkan data. Kedelapan, kemampuan membangun argumen. Kesembilan, kemampuan mengevaluasi kesalahan. Kesepuluh, kemampuan merevisi

kesimpulan berdasarkan bukti. AI dapat mendukung setiap kemampuan ini, tetapi tidak boleh menggantikannya.

Salah satu bahaya penggunaan AI dalam praktikum adalah munculnya laporan yang tampak rapi tetapi tidak merepresentasikan proses belajar siswa. Siswa dapat meminta AI menulis tujuan, dasar teori, pembahasan, kesimpulan, bahkan sumber kesalahan tanpa memahami data. Guru perlu mengantisipasi hal ini dengan desain asesmen yang menilai proses, bukan hanya produk. Misalnya, guru dapat meminta siswa melampirkan data mentah, foto proses, catatan pengamatan asli, perhitungan manual, refleksi pribadi, atau presentasi lisan. Guru juga dapat menilai kemampuan siswa menjawab pertanyaan tentang data yang mereka peroleh. Dengan cara ini, AI tidak mudah menggantikan proses belajar.

AI dapat digunakan secara etis dalam laporan praktikum jika perannya dibatasi. Misalnya, AI boleh digunakan untuk membantu memperbaiki bahasa, menyusun format tabel, memberi pertanyaan reflektif, atau menjelaskan konsep umum. Namun, data, analisis, interpretasi, dan kesimpulan harus berasal dari pekerjaan siswa. Jika AI digunakan, siswa perlu menyatakan bagian mana yang dibantu AI. Kebijakan seperti ini selaras dengan prinsip integritas akademik yang ditekankan dalam deskripsi mata kuliah.

Eksperimen juga berkaitan dengan pembelajaran bermakna. Meaningful learning terjadi ketika siswa menghubungkan pengalaman praktikum dengan konsep kimia. Jika praktikum hanya dilakukan tanpa diskusi konseptual, maknanya terbatas. Misalnya, melihat endapan putih tidak otomatis membuat siswa memahami hasil kali kelarutan. Mengukur pH tidak otomatis membuat siswa memahami ionisasi asam. Guru perlu memfasilitasi hubungan antara pengalaman, data, model partikel, simbol, dan teori. AI dapat membantu membuat pertanyaan penghubung, tetapi guru tetap memimpin proses konseptualisasi.

Eksperimen juga dapat mendukung mindful learning. Dalam praktikum, siswa perlu sadar terhadap tindakan, pengamatan, dan kesalahan. Mereka perlu bertanya: “Mengapa saya melakukan langkah ini?”, “Apa yang sebenarnya saya ukur?”, “Apakah data saya masuk akal?”, “Apa asumsi dalam perhitungan saya?”, “Apa batas kesimpulan saya?” AI dapat membantu membuat jurnal refleksi praktikum. Namun, refleksi harus ditulis berdasarkan pengalaman nyata siswa, bukan dihasilkan sepenuhnya oleh AI.

Eksperimen juga dapat menjadi sumber joyful learning. Banyak siswa merasa kimia lebih menarik ketika melihat fenomena nyata: perubahan warna, nyala api, kristal, gas, endapan, atau reaksi yang menghasilkan panas. Namun, joyful learning dalam praktikum harus selalu dikendalikan oleh keselamatan dan tujuan pembelajaran. Praktikum tidak boleh hanya mengejar efek spektakuler. AI dapat membantu merancang praktikum sederhana dan aman, tetapi guru harus memvalidasi bahan, prosedur, risiko, dan limbah.

Dalam pendidikan calon guru kimia, mahasiswa perlu dilatih merancang praktikum berbantuan AI dengan struktur lengkap. Mereka dapat diminta membuat rancangan praktikum yang mencakup tujuan, dasar teori, variabel, alat-bahan, prosedur, K3, tabel data, pertanyaan inkuiri, analisis data, prediksi hasil, kemungkinan miskonsepsi, sumber kesalahan, dan rubrik penilaian. AI dapat digunakan untuk membantu draf awal, tetapi mahasiswa harus memvalidasi konsep dan

keselamatan. Produk ini sesuai dengan arah mata kuliah yang menekankan pengembangan LKPD praktikum berbasis inkuiri dan portofolio pembelajaran kimia berbasis AI.

Praktikum berbantuan AI juga dapat dikaitkan dengan kimia komputasi edukatif. Pada tingkat perguruan tinggi, mahasiswa dapat menggunakan perangkat lunak sederhana untuk memodelkan struktur molekul, menghitung energi relatif, memvisualisasikan orbital, atau membandingkan geometri molekul. AI dapat membantu menjelaskan hasil visualisasi atau memberikan panduan interpretasi. Namun, mahasiswa perlu memahami bahwa hasil komputasi bergantung pada model, metode, basis set, asumsi, dan keterbatasan perangkat lunak. Penalaran ilmiah tetap diperlukan untuk menafsirkan hasil.

Dalam pembelajaran berbasis proyek, eksperimen dan data dapat diperluas ke masalah nyata. Misalnya, siswa dapat mengukur pH beberapa sampel air, membandingkan daya hantar berbagai larutan rumah tangga, meneliti korosi pada logam dalam kondisi berbeda, atau menguji efektivitas indikator alami. AI dapat membantu merancang proyek, membuat tabel data, menyusun panduan analisis, dan membuat rubrik. Namun, guru harus memastikan bahwa proyek aman, realistis, tidak menimbulkan klaim berlebihan, dan sesuai jenjang.

Penalaran ilmiah juga menuntut kemampuan membedakan korelasi dan sebab-akibat. Dalam data kimia, dua variabel dapat tampak berhubungan, tetapi hubungan itu perlu ditafsirkan berdasarkan teori dan kontrol eksperimen. Misalnya, peningkatan suhu dapat mempercepat reaksi, tetapi jika konsentrasi juga berubah, kesimpulan menjadi tidak valid. AI dapat membantu siswa mengenali kebutuhan kontrol variabel. Guru dapat meminta AI membuat contoh kasus eksperimen yang rancu, lalu siswa diminta mengidentifikasi masalah desainnya. Aktivitas ini melatih penalaran metodologis.

Eksperimen juga mengajarkan bahwa sains bersifat tentatif tetapi dapat dipercaya. Tentatif berarti kesimpulan ilmiah terbuka untuk revisi jika ada bukti baru. Dapat dipercaya berarti kesimpulan dibangun melalui metode sistematis, data, pengujian, dan argumentasi. Dalam pembelajaran kimia, siswa perlu memahami bahwa data praktikum kelas mungkin tidak sempurna, tetapi tetap dapat digunakan untuk belajar jika dianalisis secara jujur. AI dapat membantu siswa menulis refleksi tentang keterbatasan data, tetapi guru perlu menekankan kejujuran ilmiah.

Dengan demikian, eksperimen, data, dan penalaran ilmiah merupakan inti pembelajaran kimia. Eksperimen memberi dasar empiris, data menjadi bahan analisis, dan penalaran ilmiah menghubungkan bukti dengan konsep. AI dapat membantu memperkuat ketiganya melalui perencanaan praktikum, simulasi, virtual laboratory, pengembangan LKPD, analisis data, rubrik, umpan balik, dan refleksi. Namun, AI tidak boleh menggantikan pengalaman empiris, kejujuran data, keselamatan laboratorium, atau proses berpikir siswa. Guru kimia tetap menjadi pengarah utama agar penggunaan AI dalam eksperimen benar-benar memperkuat literasi sains, bukan hanya mempercepat penyusunan laporan.

Subbab berikutnya akan membahas **peran AI dalam menjembatani konsep abstrak dan pengalaman konkret**. Pembahasan tersebut penting karena setelah memahami abstraksi, representasi, miskonsepsi, visualisasi, eksperimen, dan data, kita perlu melihat bagaimana AI dapat berfungsi sebagai jembatan pedagogis antara dunia konsep yang tidak terlihat dan

pengalaman belajar yang dapat diamati, dimanipulasi, dianalisis, serta direfleksikan oleh peserta didik.

2.8 Peran AI dalam Menjembatani Konsep Abstrak dan Pengalaman Konkret

Salah satu tantangan terbesar dalam pembelajaran kimia adalah menjembatani konsep abstrak dengan pengalaman konkret. Kimia membahas dunia yang sebagian besar tidak terlihat secara langsung: atom, ion, molekul, elektron, orbital, ikatan kimia, gaya antarmolekul, energi aktivasi, kesetimbangan dinamis, mekanisme reaksi, dan struktur molekul tiga dimensi. Pada saat yang sama, peserta didik belajar kimia melalui pengalaman konkret: melihat perubahan warna, terbentuknya endapan, munculnya gas, perubahan suhu, nyala api, larutan yang menghantarkan listrik, logam yang berkarat, atau indikator yang berubah warna. Tantangan pedagogisnya adalah bagaimana menghubungkan pengalaman yang dapat diamati dengan proses partikel yang tidak tampak.

File deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia* menegaskan bahwa AI dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu pembelajaran untuk memperjelas konsep, menghasilkan bahan ajar adaptif, membuat simulasi interaktif, mengembangkan asesmen berbasis data, memberikan umpan balik otomatis, serta mendukung pembelajaran yang lebih personal, bermakna, reflektif, dan menyenangkan. Dengan demikian, peran AI dalam pembelajaran kimia bukan hanya membuat materi lebih cepat, tetapi membantu membangun jembatan antara fenomena konkret dan konsep abstrak.

Jembatan pertama yang dapat dibangun AI adalah **jembatan representasional**. Dalam kimia, konsep tidak cukup dipahami melalui satu bentuk representasi. Peserta didik perlu menghubungkan level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. AI dapat membantu guru menyusun bahan ajar yang secara eksplisit menghubungkan ketiga level tersebut. Misalnya, untuk reaksi pengendapan, AI dapat membantu menyusun uraian yang dimulai dari pengamatan terbentuknya endapan putih, dilanjutkan dengan penjelasan ion Ag^+ dan Cl^- yang membentuk padatan AgCl, lalu diakhiri dengan persamaan reaksi molekul, persamaan ion lengkap, dan persamaan ion bersih. Dengan cara ini, AI membantu guru membangun alur dari pengalaman konkret menuju penalaran abstrak.

Jembatan representasional ini sangat penting karena banyak kesulitan belajar kimia terjadi ketika siswa hanya memahami satu level representasi. Jika siswa hanya melihat gejala makroskopik, mereka tidak memahami penyebab partikel. Jika hanya menghafal simbol, mereka tidak memahami fenomena nyata. Jika hanya melihat animasi partikel, mereka belum tentu mampu menulis persamaan kimia. AI dapat membantu menghasilkan format pembelajaran yang memaksa keterhubungan antartingkat, misalnya tabel "fenomena–partikel–simbol", peta konsep multirepresentasi, pertanyaan diagnostik, atau aktivitas translasi representasi.

Contohnya, pada materi larutan elektrolit, AI dapat membantu guru membuat bahan pembelajaran yang mempertemukan tiga aspek. Pada level konkret, siswa mengamati lampu menyala ketika elektroda dimasukkan ke dalam larutan NaCl. Pada level submikroskopik, siswa memahami bahwa NaCl terdisosiasi menjadi ion Na^+ dan Cl^- yang bergerak bebas dalam air. Pada level simbolik, siswa menulis $NaCl(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$. AI dapat membantu menyusun pertanyaan lanjutan:

“Mengapa larutan gula tidak menyalakan lampu dengan cara yang sama?”, “Apakah elektron bergerak di dalam larutan?”, “Apa perbedaan partikel dalam larutan NaCl dan larutan sukrosa?” Pertanyaan ini membantu siswa bergerak dari pengamatan menuju penjelasan ilmiah.

Jembatan kedua adalah **jembatan visual**. Konsep abstrak kimia sering memerlukan visualisasi. AI dapat membantu menghasilkan deskripsi visual, skenario animasi, ilustrasi konseptual, infografik, model molekul, atau panduan penggunaan simulasi. Dalam pendidikan kimia, visualisasi sangat penting untuk topik struktur atom, bentuk molekul, ikatan kimia, gaya antarmolekul, kesetimbangan, kinetika, elektrokimia, dan kimia organik. Kajian tentang pembelajaran intertekstual dengan visualisasi 3D pada geometri molekul menunjukkan bahwa hubungan antarteks dan representasi dapat berfungsi sebagai jembatan komunikasi antara level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik dalam pembelajaran kimia.

AI dapat membantu guru membuat visualisasi secara lebih terarah. Misalnya, guru dapat meminta AI menyusun prompt atau naskah animasi untuk menjelaskan mengapa molekul H_2O berbentuk bengkok sedangkan CO_2 linear. AI dapat membantu menuliskan penjelasan tentang pasangan elektron bebas, tolakan pasangan elektron, sudut ikatan, dan pengaruh bentuk terhadap polaritas. Guru kemudian memvalidasi penjelasan tersebut dan memilih visualisasi yang sesuai. Dalam hal ini, AI tidak menggantikan pengetahuan guru, tetapi mempercepat pengembangan media visual yang lebih sistematis.

Namun, jembatan visual harus dibangun dengan hati-hati. AI generatif visual dapat menghasilkan gambar kimia yang tampak menarik tetapi salah. Gambar molekul dapat memiliki jumlah ikatan keliru, geometri tidak tepat, simbol unsur salah, atau representasi alat laboratorium yang tidak aman. Kajian tentang visual kimia buatan GenAI pada calon guru kimia menunjukkan bahwa visualisasi yang dihasilkan AI perlu dikritisi melalui lensa TPACK dan PCK, termasuk kualitas teknis visual dan ketepatan representasi kimianya. Karena itu, setiap visualisasi AI harus divalidasi secara kimia dan pedagogis sebelum digunakan.

Jembatan ketiga adalah **jembatan simulatif**. AI dapat membantu menghubungkan konsep abstrak dengan pengalaman konkret melalui simulasi dan laboratorium virtual. Simulasi memungkinkan peserta didik mengamati proses yang sulit dilihat secara langsung, mengubah variabel, mengulang percobaan, dan melihat konsekuensi perubahan kondisi. Dalam kimia, simulasi dapat digunakan untuk menjelaskan tumbukan partikel, perubahan energi, kesetimbangan dinamis, titrasi, elektrolisis, struktur molekul, atau perubahan konsentrasi. Virtual laboratory juga dapat membantu ketika praktikum nyata terbatas oleh alat, bahan, waktu, biaya, atau keselamatan.

Kajian tentang virtual laboratory pada mahasiswa kimia menunjukkan bahwa laboratorium virtual dapat menjadi alternatif atau pelengkap pembelajaran laboratorium tradisional dan berpengaruh terhadap prestasi akademik mahasiswa kimia. Penelitian lain tentang integrasi virtual laboratory dalam pendidikan kimia juga menunjukkan bahwa laboratorium virtual dapat meningkatkan pengalaman belajar calon guru sains dan membantu pembelajaran konsep kimia melalui lingkungan digital. Dalam konteks AI, simulasi dan laboratorium virtual dapat diperkuat dengan umpan balik adaptif, pertanyaan pemandu, dan analisis respons siswa.

Namun, simulasi tidak boleh menggantikan seluruh pengalaman laboratorium nyata. Kimia tetap ilmu eksperimental. Peserta didik perlu belajar mengamati langsung, membaca skala, menggunakan alat, mengelola bahan, menjaga keselamatan, mencatat data, menghadapi ketidakpastian, dan menafsirkan hasil eksperimen nyata. AI dan virtual laboratory sebaiknya berfungsi sebagai jembatan: mempersiapkan siswa sebelum praktikum, memperjelas proses partikel selama pembelajaran, dan membantu analisis data setelah praktikum. Dengan demikian, pengalaman konkret tetap terjaga, sedangkan konsep abstrak menjadi lebih mudah dipahami.

Jembatan keempat adalah **jembatan bahasa**. Konsep abstrak sering sulit dipahami karena bahasa kimia sangat teknis. AI berbasis model bahasa dapat membantu menyederhanakan penjelasan tanpa menghilangkan akurasi konsep. Guru dapat meminta AI menjelaskan konsep yang sama dalam beberapa tingkat: untuk siswa pemula, untuk siswa yang sudah memahami dasar, untuk mahasiswa, atau untuk calon guru. AI juga dapat membantu membuat analogi, contoh kontekstual, pertanyaan pemantik, dan dialog pembelajaran. Namun, penyederhanaan bahasa harus selalu dijaga agar tidak mengubah makna konsep.

Sebagai contoh, konsep entropi sering disederhanakan sebagai "ketidakteraturan". AI dapat membantu guru membuat penjelasan yang lebih berhati-hati, misalnya dengan mengaitkan entropi dengan penyebaran energi dan jumlah kemungkinan susunan partikel, bukan hanya kekacauan. Konsep orbital juga sering disalahpahami sebagai lintasan elektron. AI dapat membantu membuat penjelasan yang menekankan orbital sebagai daerah probabilitas keberadaan elektron. Dengan prompt yang tepat, AI dapat membantu guru menemukan bahasa yang lebih jernih, tetapi guru tetap harus memeriksa apakah penjelasan tersebut sesuai dengan konsep ilmiah.

Jembatan kelima adalah **jembatan analogi**. Analogi dapat membantu peserta didik memahami konsep abstrak melalui pengalaman yang lebih dikenal. Misalnya, kesetimbangan dinamis dapat dianalogikan dengan dua eskalator yang bergerak berlawanan dengan jumlah orang yang masuk dan keluar seimbang. Ikatan ionik dapat dianalogikan secara terbatas sebagai interaksi elektrostatik antara muatan berlawanan. Laju reaksi dapat dianalogikan dengan frekuensi dan efektivitas pertemuan. AI dapat membantu guru menghasilkan banyak alternatif analogi. Namun, analogi harus disertai batas. Jika tidak, analogi dapat menjadi sumber miskonsepsi.

Setiap analogi memiliki bagian yang cocok dan bagian yang tidak cocok. Misalnya, analogi atom "ingin mencapai oktet" dapat membantu siswa mengingat kestabilan konfigurasi elektron, tetapi dapat menyesatkan karena atom tidak memiliki kehendak. Analogi ikatan kimia sebagai "berbagi" dapat membantu memahami kovalen, tetapi dapat membuat siswa membayangkan proses sosial seperti manusia berbagi benda. Guru harus menjelaskan batas analogi. AI dapat diminta tidak hanya membuat analogi, tetapi juga menyebutkan "bagian analogi yang tepat" dan "bagian analogi yang tidak boleh dipahami secara literal".

Jembatan keenam adalah **jembatan diagnostik**. AI dapat membantu guru mengidentifikasi titik abstraksi yang sulit dipahami siswa melalui pertanyaan diagnostik, analisis respons, dan umpan balik. Misalnya, untuk mengetahui apakah siswa memahami kesetimbangan dinamis, guru dapat menggunakan pertanyaan: "Pada keadaan setimbang, apakah reaksi masih berlangsung? Jelaskan pada level partikel." Untuk mengetahui pemahaman larutan elektrolit, guru dapat bertanya:

“Mengapa larutan NaCl menghantarkan listrik, tetapi larutan gula tidak?” AI dapat membantu membuat variasi pertanyaan diagnostik beserta kemungkinan miskonsepsi yang muncul.

Diagnosis semacam ini penting karena konsep abstrak sering menimbulkan pemahaman yang tampak benar di permukaan. Siswa mungkin dapat menghafal definisi, tetapi tidak dapat menjelaskan proses partikel. Siswa mungkin dapat menghitung, tetapi tidak memahami makna simbol. AI dapat membantu guru membuat asesmen yang lebih menyingkap model mental siswa. File deskripsi mata kuliah juga menekankan penggunaan AI untuk asesmen diagnostik, analisis miskonsepsi, dan umpan balik otomatis dalam pembelajaran kimia.

Jembatan ketujuh adalah **jembatan umpan balik**. Dalam pembelajaran kimia, umpan balik sangat penting karena kesalahan konsep perlu segera diperbaiki. AI dapat membantu memberi umpan balik awal terhadap jawaban siswa. Misalnya, jika siswa menulis bahwa katalis menggeser kesetimbangan, AI yang diarahkan dengan baik dapat memberi umpan balik bahwa katalis mempercepat tercapainya keadaan setimbang dengan menurunkan energi aktivasi, tetapi tidak mengubah nilai tetapan kesetimbangan. Jika siswa menulis bahwa elektron bergerak dalam larutan elektrolit, AI dapat membantu menjelaskan perbedaan hantaran listrik dalam logam dan dalam larutan.

Namun, umpan balik AI harus diawasi. AI dapat memberi umpan balik yang terlalu umum, terlalu panjang, atau bahkan salah. Guru perlu menyusun prompt yang membatasi AI agar memberi umpan balik konseptual, tidak langsung memberi jawaban final, dan sesuai level siswa. Guru juga perlu memeriksa respons AI secara berkala. Dalam desain pembelajaran, AI sebaiknya digunakan untuk memperbanyak kesempatan siswa menerima umpan balik, bukan menggantikan penilaian guru sepenuhnya.

Jembatan kedelapan adalah **jembatan data**. Kimia sebagai ilmu eksperimental menghasilkan data. AI dapat membantu menghubungkan data konkret dari eksperimen dengan konsep abstrak yang menjelaskannya. Misalnya, data perubahan suhu dapat dihubungkan dengan konsep reaksi eksoterm atau endoterm. Data pH selama titrasi dapat dihubungkan dengan kurva titrasi, titik ekuivalen, dan sifat asam-basa. Data waktu reaksi dapat dihubungkan dengan laju reaksi. Data konduktivitas dapat dihubungkan dengan jumlah ion dalam larutan. AI dapat membantu siswa membaca tabel, membuat grafik, mengenali tren, dan merumuskan interpretasi awal.

Namun, AI tidak boleh membuat siswa melewati proses analisis data. Guru dapat meminta siswa terlebih dahulu membuat grafik dan kesimpulan sendiri, lalu menggunakan AI untuk memeriksa apakah interpretasinya konsisten dengan data. Prompt yang baik bukan “buatkan pembahasan praktikum”, tetapi “berikan pertanyaan yang membantu saya mengevaluasi apakah kesimpulan saya sudah didukung data”. Dengan demikian, AI menjadi alat refleksi data, bukan pengganti penalaran ilmiah.

Jembatan kesembilan adalah **jembatan personalisasi**. Tidak semua siswa memerlukan jembatan yang sama. Sebagian siswa membutuhkan visualisasi, sebagian membutuhkan analogi, sebagian membutuhkan penjelasan verbal, sebagian membutuhkan latihan prosedural, dan sebagian membutuhkan eksperimen. AI dapat membantu guru menyediakan variasi jalur belajar. File deskripsi mata kuliah menyebut bahwa AI dapat membantu pembelajaran diferensiasi dan adaptif,

termasuk kebutuhan remedial, pengayaan, dan pembelajaran personal. Ini penting karena konsep abstrak tidak selalu sulit dengan cara yang sama bagi semua siswa.

Misalnya, pada topik stoikiometri, siswa yang lemah konsep mol memerlukan penjelasan tentang hubungan mol, massa, jumlah partikel, dan koefisien reaksi. Siswa yang lemah matematika memerlukan scaffolding perhitungan. Siswa yang lemah representasi memerlukan hubungan antara persamaan reaksi dan jumlah partikel. Siswa yang sudah kuat dapat diberi masalah kontekstual seperti pereaksi pembatas dalam proses industri. AI dapat membantu guru membuat bahan yang berbeda untuk kebutuhan yang berbeda, tetapi guru tetap mengatur jalur belajar agar tidak memecah pembelajaran menjadi pengalaman individual yang terisolasi.

Jembatan kesepuluh adalah **jembatan kreativitas**. AI dapat membantu membuat aktivitas kreatif yang menghubungkan konsep abstrak dengan pengalaman belajar yang lebih konkret dan menyenangkan. Misalnya, siswa dapat membuat komik konsep tentang perjalanan ion dalam larutan, infografik tentang bentuk molekul dan polaritas, dialog antara partikel dalam reaksi kesetimbangan, atau simulasi naratif tentang aliran elektron dalam sel volta. Aktivitas seperti ini dapat membantu joyful learning, asalkan tetap akurat secara kimia. AI dapat membantu menghasilkan ide, naskah, atau rancangan visual, tetapi guru harus memvalidasi konsep.

Peran AI sebagai jembatan juga dapat dipahami melalui kerangka **scaffolding**. Konsep abstrak tidak langsung diberikan dalam bentuk final, tetapi dibangun melalui tahapan bantuan. Pada awalnya, AI dapat membantu memberi contoh konkret, analogi, visualisasi, atau pertanyaan pemandu. Setelah siswa mulai memahami, bantuan dikurangi dan siswa diminta menjelaskan sendiri. Dalam stoikiometri, misalnya, AI dapat memberi petunjuk langkah demi langkah pada latihan awal, tetapi pada latihan berikutnya siswa harus menentukan langkah sendiri. Scaffolding yang baik mendorong kemandirian, bukan ketergantungan.

Dalam pembelajaran kimia, AI dapat membantu membuat scaffolding dengan beberapa bentuk. Pertama, scaffolding konseptual, yaitu membantu menjelaskan ide inti. Kedua, scaffolding representasional, yaitu membantu menghubungkan makro, submikro, dan simbolik. Ketiga, scaffolding prosedural, yaitu membantu urutan langkah penyelesaian soal atau praktikum. Keempat, scaffolding metakognitif, yaitu membantu siswa merefleksikan proses berpikirnya. Kelima, scaffolding strategis, yaitu membantu memilih pendekatan pemecahan masalah. Guru perlu memilih bentuk scaffolding sesuai kesulitan siswa.

AI juga dapat menjembatani konsep abstrak dan pengalaman konkret melalui **pembelajaran berbasis masalah**. Guru dapat menggunakan AI untuk membuat skenario masalah kimia yang dekat dengan kehidupan siswa: pencemaran air, korosi, kualitas makanan, baterai, kosmetik, deterjen, plastik, pupuk, atau obat. Masalah konkret ini menjadi pintu masuk untuk konsep abstrak. Misalnya, masalah korosi dapat mengantar siswa pada redoks dan elektrokimia. Masalah minuman bersoda dapat mengantar siswa pada kesetimbangan gas terlarut. Masalah pemutih pakaian dapat mengantar siswa pada oksidasi. AI membantu menghasilkan konteks, tetapi guru harus memeriksa fakta dan kesesuaian.

AI juga dapat membantu **menghubungkan kimia sekolah dengan kimia modern**. Misalnya, konsep struktur molekul dapat dikaitkan dengan desain obat, material, sensor, dan kimia

komputasi. Konsep representasi molekul juga penting dalam AI untuk kimia modern. Kajian tentang representasi molekul untuk AI dalam kimia dan ilmu material menunjukkan bahwa representasi seperti SMILES, fingerprint, dan bentuk digital lain menjadi penting agar struktur molekul dapat diproses oleh sistem AI dan dipahami oleh ilmuwan lintas bidang. Dalam pendidikan kimia, pengenalan sederhana terhadap representasi digital molekul dapat membantu mahasiswa melihat hubungan antara kimia, komputasi, dan AI.

Pada tingkat yang lebih lanjut, AI bahkan dapat digunakan dalam pemodelan molekul dan prediksi sifat kimia. Geometric deep learning, misalnya, memanfaatkan representasi molekul untuk aplikasi seperti desain obat, prediksi sintesis, dan kimia kuantum. Meskipun topik ini mungkin terlalu lanjut untuk sekolah menengah, calon guru kimia perlu memahami bahwa AI bukan hanya alat pembelajaran, tetapi juga bagian dari perkembangan ilmu kimia modern. Pemahaman ini dapat memperkaya cara guru menjelaskan relevansi kimia bagi masa depan sains dan teknologi.

Namun, semakin kuat peran AI sebagai jembatan, semakin besar pula kebutuhan literasi kritis. AI dapat menjembatani, tetapi juga dapat membuat jembatan yang rapuh jika keluarannya salah. AI dapat membuat konsep abstrak tampak mudah, tetapi kemudahan semu dapat menutupi kedangkalan pemahaman. Misalnya, siswa mungkin merasa paham karena AI memberikan analogi sederhana, tetapi gagal menerapkan konsep pada situasi baru. Guru perlu menguji pemahaman melalui pertanyaan transfer, analisis data, penjelasan mandiri, dan diskusi kelas.

AI juga dapat membuat siswa bergantung pada penjelasan instan. Jika setiap kesulitan langsung dijawab AI, siswa mungkin kehilangan ketahanan kognitif untuk bergulat dengan masalah. Padahal, dalam belajar kimia, kebingungan awal sering menjadi bagian dari proses membangun pemahaman. Guru perlu menata penggunaan AI agar siswa tetap mengalami proses berpikir. AI sebaiknya memberi petunjuk, pertanyaan, atau umpan balik, bukan selalu jawaban final. Dengan demikian, AI menjadi jembatan yang dilalui siswa, bukan kendaraan yang membawa siswa tanpa usaha.

Dalam desain pembelajaran, guru dapat menerapkan model **konkret–representasional–abstrak berbantuan AI**. Pertama, guru menghadirkan fenomena konkret, seperti demonstrasi, praktikum, video, atau masalah kontekstual. Kedua, guru menggunakan AI untuk membantu membuat representasi partikel, visualisasi, tabel hubungan, atau simulasi. Ketiga, guru mengarahkan siswa menuju simbol, rumus, persamaan, atau generalisasi konsep. Keempat, siswa menerapkan konsep pada kasus baru. Kelima, AI digunakan untuk refleksi dan umpan balik. Model ini menjaga agar pembelajaran tidak langsung melompat ke simbol abstrak.

Sebagai contoh, pada materi reaksi asam-basa, guru dapat memulai dengan perubahan warna indikator pada beberapa larutan rumah tangga. Setelah itu, AI membantu membuat representasi partikel yang menunjukkan perbedaan konsentrasi ion H_3O^+ dan OH^-. Kemudian siswa menuliskan konsep pH dan persamaan netralisasi. Selanjutnya siswa mengerjakan soal kontekstual tentang penetralan limbah asam. AI dapat membantu memberi umpan balik terhadap penjelasan siswa. Alur ini menghubungkan pengalaman konkret, representasi, simbol, dan aplikasi.

Pada materi kesetimbangan, guru dapat memulai dari fenomena warna sistem kesetimbangan tertentu atau simulasi sederhana. AI membantu membuat narasi partikel tentang reaksi maju dan

balik. Siswa kemudian membaca grafik konsentrasi terhadap waktu dan menuliskan ekspresi tetapan kesetimbangan. Setelah itu, siswa menganalisis pengaruh perubahan konsentrasi atau suhu. AI dapat memberi pertanyaan reflektif: “Apakah katalis mengubah nilai K?”, “Apakah reaksi berhenti pada setimbang?”, “Apa perbedaan Q dan K?” Dengan cara ini, AI menjembatani pengalaman, visualisasi, grafik, dan simbol.

Pada materi elektrokimia, guru dapat menunjukkan baterai atau sel volta sederhana. AI membantu menyusun visualisasi aliran elektron dan migrasi ion. Siswa kemudian menuliskan setengah reaksi oksidasi dan reduksi. Setelah itu, siswa menganalisis arah elektron dan fungsi jembatan garam. AI dapat membantu membuat diagram langkah berpikir, tetapi guru memvalidasi agar tidak terjadi miskonsepsi. Dengan pendekatan ini, konsep abstrak redoks dan potensial sel menjadi lebih terkait dengan pengalaman konkret.

AI juga dapat membantu guru membuat **LKPD berbasis jembatan konsep**. LKPD semacam ini tidak hanya berisi pertanyaan isian, tetapi mengarahkan siswa dari observasi menuju model dan simbol. Struktur LKPD dapat mencakup: fenomena awal, prediksi siswa, pengamatan, representasi partikel, diskusi simbolik, analisis data, pertanyaan miskonsepsi, refleksi, dan aplikasi. AI dapat membantu menyusun draf LKPD, tetapi guru harus memastikan setiap bagian mendukung tujuan pembelajaran. File deskripsi mata kuliah menyebut LKPD berbasis AI sebagai salah satu kelengkapan materi dan produk pembelajaran.

AI juga dapat mendukung guru dalam menyusun **media pembelajaran interaktif**. Misalnya, guru dapat menggunakan AI untuk merancang skenario slide interaktif yang menampilkan fenomena, pertanyaan, gambar partikel, dan persamaan. Guru dapat membuat infografik yang membandingkan representasi makro-submikro-simbolik. Guru dapat membuat simulasi naratif dengan langkah-langkah yang dapat diprediksi siswa. Namun, media interaktif harus menjaga keseimbangan antara daya tarik visual dan kedalaman konsep. Interaktivitas tanpa penalaran tidak cukup.

Dalam konteks asesmen, AI dapat membantu membuat soal yang menguji kemampuan menjembatani konsep abstrak dan konkret. Misalnya, soal tidak hanya bertanya definisi elektrolit, tetapi menampilkan data daya hantar beberapa larutan dan meminta siswa menjelaskan partikel yang ada di dalamnya. Soal tidak hanya meminta persamaan reaksi, tetapi menampilkan gambar partikel dan meminta siswa menulis persamaan yang sesuai. Soal tidak hanya meminta menghitung pH, tetapi meminta siswa menjelaskan hubungan antara pH dan ion dalam larutan. Asesmen seperti ini lebih sesuai dengan karakter kimia.

Peran AI sebagai jembatan juga berhubungan dengan pembelajaran reflektif. Setelah menggunakan AI, siswa perlu diajak bertanya: “Bagian mana dari penjelasan AI yang membantu saya memahami konsep?”, “Apakah ada bagian yang perlu saya verifikasi?”, “Bagaimana saya menghubungkan gambar dengan persamaan?”, “Apakah analogi yang digunakan memiliki batas?”, “Apa bukti eksperimen yang mendukung konsep ini?” Pertanyaan semacam ini mencegah siswa menjadi pengguna pasif AI. Mereka belajar menggunakan AI secara mindful.

Dalam pendidikan calon guru, mahasiswa perlu dilatih mengevaluasi apakah AI benar-benar menjembatani konsep atau hanya membuat materi tampak lengkap. Mereka dapat diminta

membandingkan dua bahan ajar: satu bahan ajar yang hanya berisi penjelasan verbal AI, dan satu bahan ajar yang menghubungkan fenomena, partikel, simbol, data, dan refleksi. Mahasiswa kemudian menilai mana yang lebih kuat secara pedagogis. Latihan ini membantu mereka memahami bahwa kualitas penggunaan AI tidak ditentukan oleh panjangnya jawaban, tetapi oleh koherensi konsep dan desain belajar.

Dengan demikian, AI memiliki peran penting dalam menjembatani konsep abstrak dan pengalaman konkret dalam pembelajaran kimia. AI dapat membantu membangun jembatan representasional, visual, simulatif, bahasa, analogi, diagnostik, umpan balik, data, personalisasi, kreativitas, dan scaffolding. Namun, jembatan tersebut harus dibangun di atas fondasi validitas konsep, keselamatan, etika, dan desain pedagogis. AI tidak boleh membuat siswa hanya menerima jawaban, tetapi harus membantu mereka melihat hubungan antara fenomena nyata, dunia partikel, simbol kimia, data eksperimen, dan penalaran ilmiah. Dalam kerangka ini, AI menjadi alat bantu yang memperkaya pembelajaran kimia, sementara guru tetap menjadi arsitek utama pengalaman belajar.

Subbab berikutnya akan membahas **pembelajaran kimia berbasis data dan teknologi digital**. Pembahasan tersebut penting karena setelah AI dipahami sebagai jembatan antara abstraksi dan pengalaman konkret, kita perlu melihat bagaimana data, platform digital, analitik pembelajaran, simulasi, sensor, dan teknologi AI dapat digunakan untuk memperkuat pengambilan keputusan pedagogis dalam pembelajaran kimia.

2.9 Pembelajaran Kimia Berbasis Data dan Teknologi Digital

Pembelajaran kimia berbasis data dan teknologi digital merupakan perkembangan penting dalam pendidikan kimia modern. Jika pada masa sebelumnya pembelajaran kimia lebih banyak bergantung pada ceramah, buku teks, papan tulis, praktikum manual, dan latihan soal konvensional, maka saat ini pembelajaran kimia semakin terhubung dengan data, perangkat digital, simulasi, sensor, platform pembelajaran, laboratorium virtual, analitik pembelajaran, dan kecerdasan buatan. Perubahan ini tidak berarti bahwa pembelajaran kimia harus meninggalkan eksperimen nyata atau interaksi langsung di kelas. Sebaliknya, teknologi digital seharusnya memperkuat pengalaman belajar kimia agar lebih terukur, visual, adaptif, interaktif, reflektif, dan berbasis bukti.

File deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia* menempatkan pembelajaran berbasis data sebagai bagian dari ruang lingkup penting mata kuliah. Dokumen tersebut menyebut kebutuhan visualisasi molekul, eksperimen virtual, pembelajaran berbasis data, asesmen berbasis data, umpan balik otomatis, pembelajaran adaptif, dan pengembangan perangkat pembelajaran kimia berbantuan AI. Dengan demikian, pembelajaran kimia berbasis data dan teknologi digital bukan sekadar penggunaan alat elektronik, tetapi merupakan perubahan cara guru merancang, memantau, mengevaluasi, dan memperbaiki proses pembelajaran berdasarkan informasi yang lebih kaya.

Secara sederhana, **pembelajaran berbasis data** berarti proses pembelajaran yang memanfaatkan data untuk memahami kebutuhan peserta didik, memantau perkembangan belajar, mendiagnosis kesulitan, mengevaluasi efektivitas strategi, dan mengambil keputusan pedagogis. Data dalam

pembelajaran kimia dapat berupa nilai kuis, jawaban siswa, hasil pretest dan posttest, data praktikum, grafik eksperimen, catatan observasi, rekaman diskusi, aktivitas di platform digital, hasil asesmen diagnostik, respons refleksi, atau portofolio proyek. Data tersebut dapat digunakan guru untuk menjawab pertanyaan penting: konsep apa yang sudah dipahami siswa, konsep apa yang masih sulit, jenis kesalahan apa yang sering muncul, dan strategi apa yang perlu diperbaiki.

Dalam pembelajaran kimia, data memiliki posisi ganda. Pertama, data adalah **objek pembelajaran kimia**. Peserta didik belajar mengumpulkan, mengolah, dan menafsirkan data eksperimen. Mereka membaca suhu, volume, massa, pH, absorbansi, konduktivitas, waktu reaksi, potensial sel, atau konsentrasi. Kedua, data adalah **alat pengambilan keputusan pedagogis**. Guru menggunakan data belajar siswa untuk menentukan tindak lanjut pembelajaran. Kedua fungsi ini saling melengkapi. Ketika siswa belajar menganalisis data praktikum, mereka membangun literasi sains. Ketika guru menganalisis data belajar siswa, guru membangun pembelajaran yang lebih responsif.

Teknologi digital memperluas jenis data yang dapat digunakan dalam pembelajaran kimia. Dalam kelas konvensional, guru mungkin hanya memiliki data nilai ulangan dan tugas. Dalam kelas digital, guru dapat melihat pola aktivitas siswa: materi mana yang paling sering dibuka, soal mana yang paling banyak salah, berapa lama siswa mengerjakan latihan, bagian mana yang sering dilewati, dan kapan siswa membutuhkan bantuan. Data semacam ini dapat membantu guru mengenali kesulitan belajar lebih awal. Misalnya, jika banyak siswa mengulang video tentang konsep mol tetapi tetap salah pada soal stoikiometri, guru dapat menyimpulkan bahwa konsep mol perlu diajarkan ulang dengan pendekatan berbeda.

Salah satu konsep penting dalam pembelajaran berbasis data adalah **learning analytics** atau analitik pembelajaran. Learning analytics merujuk pada proses mengumpulkan, mengukur, menganalisis, dan melaporkan data tentang peserta didik serta konteks belajarnya untuk memahami dan mengoptimalkan pembelajaran. Dalam pembelajaran kimia, learning analytics dapat digunakan untuk menganalisis pola kesalahan siswa pada soal, melihat keterkaitan antara aktivitas belajar dan hasil belajar, memetakan miskonsepsi, atau mengidentifikasi siswa yang membutuhkan bantuan. AI dapat memperkuat learning analytics karena mampu memproses data lebih cepat dan menemukan pola yang sulit dilihat secara manual.

Namun, learning analytics tidak boleh dipahami sebagai pengganti penilaian profesional guru. Data dapat menunjukkan bahwa siswa salah menjawab soal kesetimbangan, tetapi guru harus menafsirkan mengapa kesalahan itu terjadi. Apakah siswa tidak memahami reaksi bolak-balik? Apakah mereka salah membaca grafik? Apakah mereka salah membedakan Q dan K? Apakah mereka mengira katalis menggeser kesetimbangan? Data memberi tanda, tetapi pedagogi memberi makna. Karena itu, pembelajaran berbasis data memerlukan kombinasi antara analisis teknologi dan kebijaksanaan guru.

Dalam konteks praktikum kimia, teknologi digital dapat memperkuat pengumpulan dan analisis data. Sensor suhu, pH meter digital, sensor konduktivitas, sensor tekanan, kolorimeter sederhana, spektrofotometer, mikrokontroler, Arduino, dan perangkat berbasis Internet of Things dapat digunakan untuk memperoleh data yang lebih akurat dan real-time. Misalnya, perubahan suhu pada reaksi eksoterm dapat direkam secara kontinu. Perubahan pH selama titrasi dapat ditampilkan

sebagai kurva. Konduktivitas larutan dapat dibandingkan secara kuantitatif. Data semacam ini membantu siswa melihat pola yang lebih jelas daripada pengamatan manual semata.

Teknologi sensor juga dapat membantu menghubungkan eksperimen dengan representasi konsep. Pada titrasi asam-basa, data pH terhadap volume titran dapat divisualisasikan sebagai kurva titrasi. Kurva tersebut kemudian dikaitkan dengan perubahan spesies kimia dalam larutan. Pada reaksi laju, data waktu dan konsentrasi dapat diolah menjadi grafik. Pada elektrokimia, data potensial sel dapat dikaitkan dengan reaksi redoks. Dengan demikian, teknologi digital membantu siswa memahami bahwa data eksperimen bukan sekadar angka, melainkan representasi dari proses kimia.

AI dapat berperan dalam membantu siswa menganalisis data praktikum. Misalnya, AI dapat membantu menjelaskan langkah membuat grafik, membaca tren, membandingkan data, atau mengidentifikasi kemungkinan sumber kesalahan. Akan tetapi, siswa harus tetap melakukan proses berpikir. AI sebaiknya digunakan sebagai penuntun, bukan penulis pembahasan otomatis. Guru dapat membuat aturan bahwa AI boleh digunakan untuk meminta pertanyaan reflektif atau memeriksa alur analisis, tetapi tidak boleh digunakan untuk menggantikan interpretasi data asli siswa. Prinsip ini penting agar pembelajaran berbasis AI tetap menjaga integritas ilmiah.

Teknologi digital juga memungkinkan penggunaan **simulasi interaktif**. Simulasi dapat digunakan ketika fenomena sulit diamati, berbahaya, terlalu cepat, terlalu lambat, terlalu mahal, atau terlalu abstrak. Misalnya, simulasi dapat menunjukkan pergerakan partikel gas, tumbukan efektif, distribusi energi, reaksi kesetimbangan, pelarutan ion, bentuk molekul, atau proses elektrokimia. Dalam pembelajaran kimia, simulasi tidak hanya membuat pembelajaran lebih menarik, tetapi juga membantu siswa membangun model mental tentang proses submikroskopik. AI dapat memperkaya simulasi dengan pertanyaan adaptif, umpan balik, dan penyesuaian aktivitas berdasarkan respons siswa.

Laboratorium virtual merupakan bentuk teknologi digital lain yang relevan. Laboratorium virtual dapat digunakan sebagai persiapan sebelum praktikum nyata, pengganti sementara ketika fasilitas terbatas, atau alat eksplorasi variabel yang sulit dilakukan di laboratorium sekolah. Namun, laboratorium virtual tidak boleh sepenuhnya menggantikan laboratorium nyata. Praktikum nyata tetap penting untuk melatih keterampilan menggunakan alat, mengamati fenomena, menjaga keselamatan, mengelola bahan, dan menghadapi ketidakpastian eksperimen. Posisi terbaik laboratorium virtual adalah sebagai pelengkap yang memperkaya pengalaman belajar.

Pembelajaran kimia berbasis digital juga mencakup penggunaan **Learning Management System** atau LMS. Melalui LMS, guru dapat menyajikan materi, memberikan tugas, mengumpulkan laporan, memberi kuis, memantau aktivitas, dan memberikan umpan balik. Dalam konteks AI, LMS dapat diintegrasikan dengan sistem rekomendasi, chatbot, analitik pembelajaran, dan asesmen otomatis. Misalnya, siswa yang mendapatkan skor rendah pada pretest ikatan kimia dapat direkomendasikan materi penguatan konfigurasi elektron. Siswa yang sudah menguasai konsep dasar dapat diberi pengayaan tentang polaritas molekul atau gaya antarmolekul. Dengan demikian, LMS tidak hanya menjadi tempat menyimpan materi, tetapi ekosistem pembelajaran adaptif.

Teknologi digital juga membantu pengembangan **asesmen berbasis data**. Guru dapat menggunakan kuis digital untuk memperoleh respons cepat dari siswa. Data respons dapat dianalisis untuk melihat soal mana yang paling sulit, konsep mana yang banyak salah, dan pilihan jawaban mana yang paling banyak dipilih. Jika distraktor dirancang berdasarkan miskonsepsi, maka data pilihan siswa dapat membantu guru memetakan miskonsepsi kelas. AI dapat membantu mengelompokkan respons, menyusun umpan balik, dan merekomendasikan tindak lanjut. Namun, guru tetap perlu memeriksa apakah butir soal valid dan apakah interpretasi data masuk akal.

Asesmen berbasis data juga memungkinkan pembelajaran yang lebih formatif. Dalam model tradisional, guru sering mengetahui kesulitan siswa setelah ujian selesai. Dalam pembelajaran digital, guru dapat mengetahui kesulitan selama proses berlangsung. Misalnya, setelah kuis singkat tentang larutan elektrolit, guru dapat segera melihat bahwa banyak siswa salah memilih jawaban yang menyatakan bahwa elektron bergerak dalam larutan. Guru dapat langsung memberikan klarifikasi pada pertemuan yang sama. Ini menunjukkan bahwa data dapat mempercepat siklus umpan balik.

Teknologi digital juga mendukung **pembelajaran kolaboratif**. Peserta didik dapat bekerja bersama dalam dokumen daring, papan tulis digital, forum diskusi, simulasi bersama, atau proyek berbasis data. Dalam kimia, kolaborasi penting karena siswa dapat saling menjelaskan konsep, membandingkan interpretasi data, mendiskusikan prosedur praktikum, dan membangun argumentasi ilmiah. AI dapat digunakan untuk membantu kelompok menyusun pertanyaan, memeriksa logika argumen, atau memberi alternatif penjelasan. Namun, guru perlu memastikan bahwa AI tidak mengambil alih diskusi siswa.

Pembelajaran berbasis data dan teknologi digital juga berkaitan dengan **pembelajaran diferensiasi**. Data membantu guru mengetahui bahwa setiap siswa tidak memiliki kebutuhan yang sama. Siswa yang belum memahami konsep dasar dapat memperoleh materi remedial. Siswa yang sudah menguasai konsep dapat diberi tantangan lebih tinggi. Siswa yang kesulitan visualisasi dapat diberi media 3D. Siswa yang kesulitan perhitungan dapat diberi latihan bertahap. File deskripsi mata kuliah menegaskan bahwa AI dapat membantu pembelajaran diferensiasi dan adaptif, termasuk kebutuhan remedial, pengayaan, dan pembelajaran personal.

Namun, diferensiasi berbasis data harus dilakukan secara hati-hati. Data tidak boleh digunakan untuk memberi label permanen kepada siswa. Siswa yang nilainya rendah pada satu topik bukan berarti lemah dalam semua hal. Siswa yang lambat mengerjakan latihan bukan berarti tidak mampu; bisa jadi ia lebih teliti atau mengalami kendala teknis. Data harus dipahami sebagai petunjuk awal yang perlu dikonfirmasi melalui observasi, dialog, asesmen lain, dan penilaian guru. Teknologi tidak boleh mengurangi kepekaan manusiawi dalam memahami peserta didik.

Pembelajaran kimia berbasis data juga dapat memperkuat **refleksi siswa**. Peserta didik dapat melihat perkembangan belajarnya melalui grafik nilai, catatan kesalahan, umpan balik, atau portofolio digital. Mereka dapat merefleksikan: topik mana yang paling sulit, jenis kesalahan apa yang sering terjadi, strategi belajar apa yang efektif, dan target perbaikan apa yang perlu dibuat. AI dapat membantu menyusun pertanyaan reflektif berdasarkan data belajar. Misalnya, setelah siswa beberapa kali salah pada soal pH, AI dapat memberi pertanyaan: “Apakah kesalahanmu

terjadi pada konsep ionisasi, penggunaan rumus, atau perhitungan logaritma?" Pertanyaan seperti ini membantu mindful learning.

Teknologi digital juga mendukung **portofolio pembelajaran kimia**. Portofolio dapat memuat bahan ajar, LKPD, laporan praktikum, hasil kuis, refleksi, proyek, media visual, peta konsep, dan revisi tugas. Dalam mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia*, produk akhir berupa portofolio pembelajaran kimia berbasis AI yang memuat rancangan pembelajaran, bahan ajar, LKPD, media visual atau simulasi, paket soal dan rubrik, analisis potensi miskonsepsi, refleksi etika, dan evaluasi kelayakan implementasi di kelas. Portofolio semacam ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis data tidak hanya melihat skor, tetapi juga perkembangan proses dan kualitas produk.

Salah satu manfaat besar teknologi digital adalah memungkinkan **umpan balik cepat**. Dalam pembelajaran kimia, umpan balik cepat penting karena kesalahan konsep perlu segera diperbaiki. Jika siswa salah memahami perbedaan ikatan ionik dan kovalen, kesalahan itu dapat terbawa ke konsep struktur zat dan sifat material. Jika siswa salah memahami mol, ia akan kesulitan dalam stoikiometri, larutan, dan gas. AI dapat membantu memberi umpan balik awal, tetapi guru harus memastikan bahwa umpan balik tersebut benar, spesifik, dan tidak sekadar memberi jawaban. Umpan balik yang baik harus membantu siswa mengetahui letak kesalahan dan cara memperbaikinya.

Pembelajaran berbasis data juga memungkinkan guru melakukan **evaluasi pembelajaran secara lebih reflektif**. Guru dapat melihat apakah strategi tertentu berhasil. Misalnya, setelah menggunakan simulasi partikel pada materi larutan elektrolit, guru dapat membandingkan hasil diagnostik sebelum dan sesudah pembelajaran. Jika miskonsepsi berkurang, strategi tersebut dapat dipertahankan. Jika masih banyak kesalahan, guru perlu memperbaiki pendekatan. Dengan data, refleksi guru menjadi lebih terarah. AI dapat membantu menganalisis pola, tetapi guru tetap menafsirkan maknanya.

Dalam konteks pendidikan kimia, teknologi digital juga dapat memperkaya **bahan ajar adaptif**. Guru dapat menggunakan AI untuk membuat bahan ajar dengan beberapa jalur. Jalur pertama untuk siswa yang belum memahami prasyarat, jalur kedua untuk pembelajaran reguler, dan jalur ketiga untuk pengayaan. Misalnya, pada materi kesetimbangan, jalur remedial dapat berisi penguatan reaksi bolak-balik dan laju reaksi. Jalur reguler berisi konsep Kc, Qc, dan Le Chatelier. Jalur pengayaan berisi aplikasi kesetimbangan dalam industri dan sistem biologis. Data hasil diagnostik membantu menentukan jalur yang sesuai.

Teknologi digital juga dapat mendukung **pembelajaran multimodal**. Peserta didik dapat belajar melalui teks, gambar, video, simulasi, audio, grafik, tabel, model 3D, dan dialog AI. Kimia sangat cocok untuk pendekatan multimodal karena konsepnya memang multirepresentasional. Namun, multimodalitas harus dirancang, bukan sekadar menumpuk banyak media. Terlalu banyak media dapat meningkatkan beban kognitif. Guru perlu memilih media yang benar-benar membantu konsep. AI dapat membantu membuat variasi media, tetapi guru harus menentukan mana yang paling sesuai.

Pembelajaran berbasis teknologi digital juga memerlukan **literasi digital dan literasi AI**. Guru dan siswa perlu memahami cara menggunakan platform, menjaga data, memeriksa informasi, mengevaluasi keluaran AI, dan menggunakan teknologi secara etis. File deskripsi mata kuliah menekankan pentingnya literasi AI, etika akademik, validasi konten, keamanan data, hak cipta, bias algoritmik, serta tanggung jawab pendidik dalam menggunakan AI. Ini menunjukkan bahwa teknologi digital tidak boleh digunakan tanpa kesadaran etis.

Salah satu isu penting adalah **privasi data**. Pembelajaran berbasis digital sering mengumpulkan data siswa, seperti nama, nilai, respons tugas, aktivitas platform, dan pola belajar. Data ini harus dilindungi. Guru tidak boleh sembarangan memasukkan data pribadi siswa ke platform AI tanpa kebijakan jelas. Jika data digunakan untuk analisis, sebaiknya dianonimkan. Sekolah dan perguruan tinggi perlu memiliki pedoman tentang penyimpanan, penggunaan, dan pembagian data. AI yang kuat harus diimbangi tata kelola data yang bertanggung jawab.

Isu lain adalah **bias algoritmik**. Sistem AI dan analitik pembelajaran dapat menghasilkan rekomendasi berdasarkan data masa lalu. Jika data tersebut bias, rekomendasinya juga dapat bias. Misalnya, siswa dari lingkungan dengan akses internet terbatas dapat terlihat kurang aktif di platform digital, padahal masalahnya bukan motivasi tetapi akses. Jika sistem menilai siswa hanya dari aktivitas daring, kesimpulan dapat tidak adil. Guru perlu menafsirkan data dalam konteks sosial dan infrastruktur. Data digital tidak pernah sepenuhnya netral.

Pembelajaran berbasis data juga harus memperhatikan **kesenjangan akses teknologi**. Tidak semua sekolah memiliki laboratorium komputer, internet stabil, perangkat siswa, sensor digital, atau lisensi aplikasi. Dalam konteks seperti ini, pembelajaran digital harus disesuaikan. Guru dapat menggunakan teknologi secara sederhana: spreadsheet, kuis berbasis ponsel, simulasi offline, video singkat, atau penggunaan AI oleh guru untuk menyiapkan bahan ajar tanpa mengharuskan semua siswa mengakses AI secara langsung. Prinsipnya, teknologi harus memperluas kesempatan belajar, bukan memperbesar ketimpangan.

Dalam konteks Indonesia, penggunaan teknologi digital dalam pembelajaran kimia juga perlu memperhatikan bahasa. Banyak platform dan sumber AI menggunakan bahasa Inggris. Guru perlu memastikan bahwa istilah kimia diterjemahkan secara tepat. Misalnya, *limiting reagent* diterjemahkan sebagai pereaksi pembatas, *equilibrium constant* sebagai tetapan kesetimbangan, *activation energy* sebagai energi aktivasi, dan *intermolecular forces* sebagai gaya antarmolekul. Kesalahan terjemahan dapat menimbulkan kesalahan konsep. AI dapat membantu menerjemahkan, tetapi istilah kimia tetap perlu divalidasi.

Pembelajaran kimia berbasis data dan teknologi digital juga dapat digunakan untuk **penelitian pendidikan kimia**. Dosen, guru, dan mahasiswa dapat meneliti pengaruh simulasi terhadap pemahaman konsep, efektivitas AI dalam umpan balik, pola miskonsepsi dari respons digital, atau kualitas portofolio pembelajaran berbasis AI. Data digital memudahkan pengumpulan bukti pembelajaran, tetapi penelitian tetap harus mengikuti etika: persetujuan peserta, anonimisasi data, validitas instrumen, dan analisis yang dapat dipertanggungjawabkan.

Dalam pendidikan calon guru, mahasiswa perlu dilatih bukan hanya memakai teknologi, tetapi juga mengevaluasinya. Mereka dapat diminta membandingkan beberapa media digital untuk topik

yang sama: mana yang paling akurat, mana yang paling sesuai jenjang, mana yang berisiko menimbulkan miskonsepsi, dan mana yang paling mudah diterapkan. Mereka juga dapat diminta membuat bahan ajar berbasis data: menggunakan hasil pretest untuk merancang remedial, menggunakan data praktikum untuk menyusun pembahasan, atau menggunakan respons siswa untuk memperbaiki LKPD. Dengan demikian, teknologi menjadi bagian dari proses desain, bukan sekadar aksesori.

AI dapat memperkuat proses ini melalui **prompt berbasis data**. Misalnya, guru dapat memasukkan ringkasan anonim hasil kuis: "Dari 30 siswa, 18 salah membedakan asam kuat dan asam pekat, 10 salah menghitung pH asam lemah, dan 8 salah memahami larutan penyangga. Buatkan rancangan remedial 2 pertemuan." Prompt semacam ini menjadikan AI lebih relevan karena berbasis data kelas. Namun, guru harus memastikan data tidak mengandung identitas pribadi dan hasil rancangan tetap divalidasi.

Teknologi digital juga dapat membantu pembelajaran kimia menjadi lebih **terbuka dan terdokumentasi**. Proses revisi bahan ajar, hasil diskusi, laporan praktikum, umpan balik, dan refleksi dapat tersimpan dalam portofolio digital. Dokumentasi ini membantu guru melihat perkembangan siswa dari waktu ke waktu. Dalam mata kuliah calon guru, dokumentasi juga membantu dosen menilai proses pengembangan perangkat pembelajaran berbasis AI: bagaimana mahasiswa membuat prompt, merevisi keluaran, memvalidasi konsep, dan memperbaiki produk.

Namun, dokumentasi digital juga harus digunakan secara proporsional. Tidak semua proses belajar harus direkam atau diukur. Pendidikan tetap memerlukan ruang dialog, intuisi pedagogis, dan interaksi manusiawi yang tidak selalu dapat direduksi menjadi data. Pembelajaran berbasis data yang sehat tidak mengubah siswa menjadi sekadar angka atau grafik. Data harus membantu guru memahami manusia, bukan menggantikan pemahaman manusiawi.

Dalam desain pembelajaran kimia, integrasi data dan teknologi digital dapat mengikuti alur berikut. Pertama, guru melakukan diagnosis awal melalui pretest, pertanyaan pemantik, atau diskusi. Kedua, guru menggunakan data untuk memetakan kebutuhan. Ketiga, guru memilih media digital, simulasi, AI, atau praktikum yang sesuai. Keempat, siswa melakukan aktivitas belajar dan menghasilkan data baru. Kelima, guru dan siswa menganalisis data tersebut. Keenam, guru memberi umpan balik dan tindak lanjut. Ketujuh, siswa melakukan refleksi. Alur ini membuat teknologi menjadi bagian dari siklus pembelajaran, bukan kegiatan terpisah.

Sebagai contoh, pada materi laju reaksi, guru dapat memberikan pretest digital tentang faktor yang memengaruhi laju. Data menunjukkan banyak siswa mengira katalis habis bereaksi. Guru kemudian menggunakan simulasi energi aktivasi dan visualisasi jalur reaksi. Siswa melakukan praktikum sederhana tentang pengaruh konsentrasi terhadap laju reaksi dan mencatat waktu. Data dimasukkan ke spreadsheet untuk dibuat grafik. AI digunakan untuk memberi pertanyaan reflektif tentang hubungan data dan teori tumbukan. Guru menutup dengan diskusi miskonsepsi katalis. Dalam alur ini, data, eksperimen, simulasi, AI, dan diskusi bekerja bersama.

Pada materi elektrolit, guru dapat menggunakan sensor konduktivitas atau alat uji sederhana untuk mengumpulkan data daya hantar berbagai larutan. Siswa membandingkan larutan garam, gula, asam, basa, dan air. Data digunakan untuk mengelompokkan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan

nonelektrolit. AI membantu membuat pertanyaan penghubung antara data konduktivitas dan jumlah ion dalam larutan. Guru memvalidasi konsep bahwa pembawa muatan dalam larutan adalah ion. Dengan demikian, data konkret menjadi jembatan menuju konsep abstrak.

Pada materi kesetimbangan, guru dapat menggunakan simulasi digital untuk menunjukkan perubahan konsentrasi reaktan dan produk seiring waktu. Siswa mengamati grafik dan tabel data. AI dapat membantu membuat pertanyaan: “Kapan sistem mencapai setimbang?”, “Apakah konsentrasi reaktan dan produk harus sama?”, “Apa hubungan laju reaksi maju dan balik?” Siswa kemudian menjelaskan konsep dengan bahasa sendiri. Guru menilai apakah siswa memahami kesetimbangan sebagai proses dinamis. Teknologi membantu, tetapi guru tetap memimpin interpretasi.

Pembelajaran berbasis data dan teknologi digital juga perlu dikaitkan dengan **evaluasi kelayakan implementasi**. Tidak semua teknologi yang baik secara teoritis cocok digunakan di semua kelas. Guru harus mempertimbangkan waktu, perangkat, internet, kemampuan siswa, keselamatan, biaya, dan kesiapan guru. Dalam produk akhir mata kuliah, mahasiswa calon guru perlu menuliskan evaluasi kelayakan implementasi di kelas. Ini penting agar rancangan berbasis AI tidak berhenti sebagai desain ideal, tetapi dapat diterapkan secara realistis.

Dengan demikian, pembelajaran kimia berbasis data dan teknologi digital merupakan pendekatan yang dapat memperkuat pembelajaran kimia melalui diagnosis, visualisasi, praktikum, analisis data, asesmen formatif, umpan balik, diferensiasi, portofolio, dan refleksi. AI dapat memperkaya semua proses tersebut, tetapi harus digunakan dengan validasi ilmiah, perlindungan data, kesadaran etis, dan keputusan pedagogis guru. Teknologi digital bukan tujuan akhir. Tujuan akhirnya tetap pembelajaran kimia yang akurat, bermakna, reflektif, menyenangkan, berbasis bukti, dan bertanggung jawab.

Subbab berikutnya akan membahas **tantangan integrasi AI dalam pembelajaran kimia sekolah dan perguruan tinggi**. Pembahasan tersebut penting karena setelah melihat peluang data dan teknologi digital, kita perlu menilai hambatan nyata dalam implementasi AI, mulai dari kesiapan guru, akses teknologi, validasi konten, kurikulum, etika, kebijakan, hingga risiko ketergantungan dan kesenjangan digital.

2.10 Tantangan Integrasi AI dalam Pembelajaran Kimia Sekolah dan Perguruan Tinggi

Integrasi kecerdasan buatan dalam pembelajaran kimia sekolah dan perguruan tinggi menghadirkan peluang besar, tetapi juga tantangan yang tidak sederhana. AI dapat membantu guru dan dosen mengembangkan bahan ajar, visualisasi, LKPD, asesmen, praktikum virtual, pembelajaran adaptif, dan umpan balik otomatis. Namun, penerapan AI dalam pembelajaran kimia tidak dapat dilakukan secara serampangan karena kimia memiliki karakteristik khusus: konsepnya abstrak, representasinya berlapis, eksperimennya memerlukan keselamatan, datanya perlu validasi, dan kesalahan kecil dalam simbol atau prosedur dapat menghasilkan miskonsepsi yang serius. Oleh sebab itu, tantangan integrasi AI harus dipahami sejak awal agar penggunaan AI benar-benar memperkuat kualitas pembelajaran, bukan sekadar mengikuti tren teknologi.

File deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia* menegaskan bahwa mahasiswa perlu mengintegrasikan AI secara kritis, kreatif, etis, dan pedagogis dalam pembelajaran kimia. Dokumen tersebut juga menekankan pentingnya literasi AI, etika akademik, validasi konten, keamanan data, hak cipta, bias algoritmik, serta tanggung jawab pendidik dalam mengevaluasi keluaran AI. Rumusan ini menunjukkan bahwa tantangan integrasi AI tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga konseptual, pedagogis, etis, institusional, dan profesional.

Tantangan pertama adalah **validitas konten kimia yang dihasilkan AI**. Dalam pembelajaran kimia, keluaran AI tidak cukup dinilai dari kelancaran bahasa atau kerapian format. Keluaran AI harus benar secara konsep, simbol, perhitungan, representasi, dan prosedur. AI dapat menghasilkan penjelasan yang terdengar meyakinkan tetapi salah. Ia dapat menuliskan persamaan reaksi yang tidak setara, struktur molekul yang tidak mungkin, geometri molekul yang tidak tepat, mekanisme reaksi yang keliru, atau prosedur praktikum yang tidak aman. Karena itu, guru dan dosen harus selalu memvalidasi keluaran AI sebelum digunakan dalam pembelajaran.

Validasi konten menjadi semakin penting karena peserta didik cenderung mempercayai jawaban yang disajikan dengan bahasa ilmiah. Jika AI menjelaskan bahwa katalis menggeser kesetimbangan, siswa dapat menganggapnya benar karena kalimatnya tampak akademik. Jika AI membuat gambar molekul dengan valensi salah, siswa dapat membangun model mental yang keliru. Jika AI memberi contoh soal dengan kunci jawaban salah, asesmen menjadi tidak valid. Dalam kimia, kesalahan semacam ini bukan sekadar kesalahan redaksi, tetapi dapat merusak struktur pemahaman siswa. Kajian tentang generative AI dalam pendidikan menekankan perlunya verifikasi keluaran, transparansi desain, perhatian terhadap bias data, dan pengembangan kurikulum yang menyiapkan peserta didik menghadapi transformasi AI.

Tantangan kedua adalah **halusinasi AI**. Halusinasi terjadi ketika AI menghasilkan informasi yang tidak benar, tidak berdasar, atau tidak dapat diverifikasi, tetapi disampaikan dengan percaya diri. Dalam pendidikan kimia, halusinasi dapat muncul dalam bentuk referensi palsu, data eksperimen rekaan, angka konstanta yang salah, prosedur laboratorium yang tidak sesuai, atau klaim kimia yang tidak valid. Halusinasi berbahaya karena guru, mahasiswa, atau siswa yang belum memiliki literasi AI kuat dapat menerimanya sebagai kebenaran. Oleh karena itu, integrasi AI harus selalu disertai pelatihan verifikasi sumber, pemeriksaan konsep, dan penggunaan referensi akademik yang valid.

Tantangan ketiga adalah **kesiapan guru dan dosen**. AI tidak akan bermakna dalam pembelajaran kimia jika pendidik tidak memiliki kompetensi menggunakannya secara pedagogis. Banyak guru mungkin mampu membuka aplikasi AI, tetapi belum tentu mampu menyusun prompt yang baik, mengevaluasi keluaran, mengaitkan AI dengan tujuan pembelajaran, atau mencegah miskonsepsi. Dalam konteks perguruan tinggi, dosen juga menghadapi tantangan serupa: bagaimana menggunakan AI untuk memperkaya perkuliahan tanpa menurunkan standar akademik dan integritas ilmiah. Kajian tentang AI dalam pendidikan kimia menekankan bahwa AI perlu dipahami bukan hanya sebagai alat bantu belajar, tetapi juga sebagai kompetensi yang harus masuk ke pendidikan guru kimia.

Kesiapan pendidik meliputi beberapa aspek. Pertama, pendidik perlu memahami konsep dasar AI, termasuk machine learning, deep learning, generative AI, LLM, chatbot, sistem rekomendasi, dan

pembelajaran adaptif. Kedua, pendidik perlu mampu memilih alat AI sesuai kebutuhan pembelajaran. Ketiga, pendidik perlu mampu menyusun prompt yang jelas dan kontekstual. Keempat, pendidik perlu memvalidasi konsep kimia yang dihasilkan AI. Kelima, pendidik perlu memahami etika, privasi, dan keamanan data. Tanpa kesiapan ini, AI mudah berubah menjadi alat produksi materi cepat yang tidak selalu bermutu.

Tantangan keempat adalah **kesenjangan literasi AI antara guru, dosen, mahasiswa, dan siswa**. Peserta didik sering kali lebih cepat mencoba aplikasi AI, tetapi belum tentu lebih kritis dalam menggunakannya. Guru dan dosen mungkin lebih kuat dalam substansi kimia, tetapi belum tentu nyaman dengan teknologi baru. Kesenjangan ini dapat menimbulkan ketidakseimbangan di kelas. Siswa menggunakan AI untuk menyelesaikan tugas, sedangkan guru belum memiliki strategi mengevaluasi penggunaan tersebut. Mahasiswa menggunakan AI untuk menulis laporan, sedangkan dosen belum menetapkan kebijakan. Karena itu, literasi AI harus dibangun secara sistematis di semua level.

Tantangan kelima adalah **akses teknologi dan kesenjangan digital**. Integrasi AI membutuhkan perangkat, internet, platform, dan literasi digital. Tidak semua sekolah dan perguruan tinggi memiliki kondisi yang sama. Ada institusi dengan akses internet stabil, laboratorium komputer, akun aplikasi, dan dukungan teknis. Ada pula sekolah dengan keterbatasan perangkat, jaringan, listrik, dan sumber daya manusia. Studi tentang persepsi guru dan siswa terhadap AI dalam pendidikan kimia melaporkan bahwa tantangan penggunaan AI antara lain keterbatasan akses data, perangkat digital, koneksi jaringan, dan rendahnya familiaritas dengan alat AI.

Kesenjangan digital perlu diperhatikan agar AI tidak memperbesar ketimpangan pendidikan. Jika hanya siswa dari sekolah tertentu yang dapat menggunakan AI secara optimal, maka manfaat teknologi tidak tersebar merata. Guru perlu mencari strategi realistis: menggunakan AI untuk membantu guru menyiapkan bahan ajar meskipun siswa tidak selalu memakai AI langsung, menyediakan kegiatan berbasis kelompok, menggunakan platform gratis atau offline bila memungkinkan, serta menyiapkan alternatif non-digital. Dalam pendidikan kimia, prinsip utamanya adalah teknologi harus memperluas akses belajar, bukan menjadi syarat yang mengecualikan siswa tertentu.

Tantangan keenam adalah **integrasi AI dengan kurikulum**. AI tidak boleh digunakan sebagai aktivitas tambahan yang terpisah dari capaian pembelajaran. Dalam pembelajaran kimia, AI harus dihubungkan dengan tujuan, materi, aktivitas, asesmen, dan refleksi. Jika kurikulum menuntut siswa memahami kesetimbangan kimia, maka AI dapat digunakan untuk visualisasi, simulasi, soal diagnostik, atau umpan balik. Jika kurikulum menuntut keterampilan praktikum, AI dapat digunakan untuk persiapan, simulasi, dan analisis data, tetapi tidak boleh menggantikan seluruh pengalaman laboratorium. Integrasi yang baik selalu dimulai dari tujuan pembelajaran, bukan dari aplikasi AI yang sedang populer.

Dalam perguruan tinggi, integrasi AI juga perlu memperhatikan profil lulusan. Mahasiswa pendidikan kimia tidak hanya perlu mampu menggunakan AI untuk belajar, tetapi juga perlu mampu merancang pembelajaran kimia berbantuan AI. File deskripsi mata kuliah menyebut bahwa produk akhir mata kuliah berupa portofolio pembelajaran kimia berbasis AI yang mencakup rancangan pembelajaran, bahan ajar, LKPD, media visual atau simulasi, paket soal dan rubrik,

analisis potensi miskonsepsi, refleksi etika, serta evaluasi kelayakan implementasi di kelas. Ini berarti integrasi AI dalam kurikulum calon guru harus berorientasi pada produk pedagogis yang dapat diterapkan, bukan sekadar wacana teknologi.

Tantangan ketujuh adalah **penyusunan kebijakan penggunaan AI di kelas**. Tanpa kebijakan yang jelas, penggunaan AI dapat menimbulkan kebingungan. Apakah siswa boleh menggunakan AI untuk tugas? Apakah mahasiswa boleh memakai AI untuk laporan praktikum? Apakah penggunaan AI harus dicantumkan? Bagian mana yang dianggap bantuan wajar dan bagian mana yang termasuk kecurangan? Bagaimana guru menilai tugas yang dibantu AI? Pertanyaan-pertanyaan ini perlu dijawab melalui kebijakan kelas atau institusi. UNESCO menekankan bahwa penggunaan generative AI dalam pendidikan memerlukan kebijakan, perlindungan data, pengembangan kapasitas manusia, dan visi human-centered.

Kebijakan penggunaan AI dalam pembelajaran kimia perlu bersifat operasional. Misalnya, AI boleh digunakan untuk meminta penjelasan ulang konsep, membuat latihan tambahan, menyusun kerangka awal, memperbaiki bahasa, atau menghasilkan ide. AI tidak boleh digunakan untuk menyalin jawaban tugas, memalsukan data praktikum, menulis laporan tanpa pemahaman, atau membuat sitasi palsu. Jika AI digunakan dalam tugas tertentu, siswa atau mahasiswa perlu menyatakan bentuk penggunaannya. Kebijakan semacam ini membantu membangun budaya akademik yang jujur dan transparan.

Tantangan kedelapan adalah **integritas akademik**. AI dapat memudahkan peserta didik menghasilkan teks, jawaban, laporan, rangkuman, dan presentasi tanpa proses belajar yang memadai. Dalam pendidikan kimia, risiko ini sangat terlihat pada laporan praktikum. Mahasiswa dapat meminta AI menulis pembahasan, sumber kesalahan, dan kesimpulan tanpa memahami data yang diperoleh. Siswa dapat meminta AI menyelesaikan soal tanpa memahami langkahnya. Jika dibiarkan, AI dapat melemahkan nalar ilmiah dan kejujuran akademik. Kajian tentang kebijakan generative AI di perguruan tinggi menunjukkan bahwa banyak institusi mengambil posisi terbuka tetapi hati-hati karena isu akurasi, privasi, etika, dan integritas akademik menjadi perhatian utama.

Untuk mengatasi tantangan integritas, asesmen perlu dirancang ulang. Tugas yang hanya meminta jawaban tertulis standar lebih mudah diambil alih AI. Guru dan dosen dapat menambahkan unsur proses: data mentah, catatan pengamatan, refleksi pribadi, presentasi lisan, diskusi kelas, analisis kesalahan, revisi bertahap, dan pembelaan argumen. Dalam praktikum, siswa dapat diminta menjelaskan data mereka secara lisan. Dalam proyek, mahasiswa dapat diminta menunjukkan jejak prompt, revisi, validasi konsep, dan alasan keputusan pedagogis. Dengan demikian, AI tidak mudah menggantikan proses belajar.

Tantangan kesembilan adalah **keamanan data dan privasi peserta didik**. Banyak platform AI memproses masukan pengguna di server eksternal. Jika guru memasukkan data pribadi siswa, nilai, identitas, hasil asesmen, atau informasi sensitif ke dalam platform tanpa izin dan kebijakan jelas, maka privasi dapat terganggu. Dalam pembelajaran kimia berbasis data dan AI, guru perlu menerapkan prinsip minimalisasi data: hanya gunakan data yang diperlukan, hilangkan identitas pribadi, dan jangan membagikan informasi sensitif. Kebijakan privasi harus menjadi bagian dari literasi AI guru dan mahasiswa.

Tantangan kesepuluh adalah **bias algoritmik**. AI belajar dari data. Jika data pelatihan mengandung bias bahasa, budaya, ekonomi, atau akademik, keluaran AI juga dapat bias. Dalam pembelajaran kimia, bias dapat muncul dalam bentuk contoh yang terlalu berpusat pada konteks negara maju, asumsi fasilitas laboratorium yang tidak tersedia, penggunaan bahan yang sulit diakses, atau standar pembelajaran yang tidak sesuai konteks lokal. AI juga dapat menghasilkan penjelasan yang kurang peka terhadap bahasa dan pengalaman peserta didik Indonesia. Oleh karena itu, guru perlu menyesuaikan keluaran AI dengan konteks kelas, kurikulum, budaya, fasilitas, dan lingkungan sekitar.

Tantangan kesebelas adalah **keselamatan laboratorium**. AI dapat membantu merancang praktikum, tetapi tidak boleh menjadi sumber tunggal prosedur eksperimen. Dalam kimia, keselamatan adalah prinsip utama. AI dapat salah menyarankan bahan, konsentrasi, urutan pencampuran, alat pelindung diri, atau prosedur pembuangan limbah. Kesalahan dalam konteks laboratorium dapat menimbulkan risiko nyata. Karena itu, setiap rancangan praktikum berbantuan AI harus divalidasi oleh guru, dosen, laboran, dan sumber keselamatan yang kredibel. Data keselamatan bahan harus merujuk pada SDS atau pedoman resmi, bukan hanya jawaban chatbot.

Tantangan kedua belas adalah **kualitas visualisasi dan representasi AI**. AI dapat membuat gambar, diagram, atau visualisasi molekul, tetapi tidak semua representasi benar secara kimia. Model gambar generatif dapat menghasilkan struktur molekul yang salah, alat laboratorium yang tidak realistis, simbol kimia yang keliru, atau representasi partikel yang menyesatkan. Dalam pembelajaran kimia, visualisasi harus mematuhi kaidah representasi. Jika tidak, gambar yang indah justru memperkuat miskonsepsi. Oleh karena itu, media visual berbasis AI harus selalu dievaluasi dari sisi akurasi kimia, kesesuaian jenjang, dan potensi miskonsepsi.

Tantangan ketiga belas adalah **ketergantungan peserta didik pada AI**. Jika siswa terbiasa meminta jawaban langsung, mereka dapat kehilangan kemampuan berpikir mandiri. Dalam kimia, proses berpikir sangat penting: memahami soal, menghubungkan konsep, membuat prediksi, melakukan perhitungan, menafsirkan data, dan membangun argumen. AI dapat membantu, tetapi tidak boleh menghilangkan perjuangan kognitif yang diperlukan dalam belajar. Guru perlu merancang penggunaan AI agar bersifat scaffolding: memberi petunjuk, bukan mengambil alih; memberi pertanyaan, bukan selalu jawaban final; membantu refleksi, bukan menggantikan pemikiran.

Tantangan keempat belas adalah **beban kerja baru bagi guru dan dosen**. Meskipun AI sering dipromosikan sebagai alat efisiensi, pada tahap awal integrasi AI justru dapat menambah beban. Guru perlu belajar alat baru, membuat kebijakan, memvalidasi keluaran, memeriksa tugas yang mungkin dibantu AI, menyesuaikan asesmen, dan mengembangkan literasi siswa. Dosen perlu menata ulang RPS, tugas, rubrik, dan standar akademik. Karena itu, institusi perlu memberi dukungan, bukan hanya menuntut guru menggunakan AI. Dukungan dapat berupa pelatihan, komunitas praktik, pedoman, infrastruktur, dan waktu untuk pengembangan profesional.

Tantangan kelima belas adalah **ketersediaan referensi dan sumber akademik yang valid**. AI generatif dapat menghasilkan daftar pustaka yang tidak akurat atau bahkan palsu. Dalam penulisan akademik, hal ini sangat berbahaya. Mahasiswa dapat mencantumkan artikel yang tidak ada, DOI palsu, atau kutipan yang tidak sesuai isi sumber. Karena itu, penggunaan AI untuk riset dan

penulisan akademik harus disertai kewajiban verifikasi bibliografi. Guru dan dosen perlu mengajarkan cara memeriksa sumber melalui database akademik, jurnal resmi, DOI, perpustakaan digital, dan penerbit kredibel.

Tantangan keenam belas adalah **bahasa dan terjemahan istilah kimia**. Banyak alat AI bekerja sangat kuat dalam bahasa Inggris, tetapi kualitasnya dapat berubah ketika digunakan dalam bahasa Indonesia. Terjemahan istilah kimia harus akurat. Kesalahan menerjemahkan *equilibrium*, *limiting reagent*, *activation energy*, *intermolecular force*, *buffer solution*, atau *oxidation state* dapat menghasilkan pemahaman yang salah. Guru perlu memeriksa istilah dan konsistensi bahasa. Dalam konteks Indonesia, AI perlu diadaptasi agar sesuai dengan istilah kimia baku dan gaya bahasa pembelajaran yang mudah dipahami.

Tantangan ketujuh belas adalah **kesesuaian AI dengan karakteristik peserta didik**. AI umum tidak selalu mengetahui tingkat perkembangan kognitif siswa, latar belakang belajar, bahasa, budaya, kemampuan matematika, atau pengalaman laboratorium. Jika prompt tidak spesifik, AI dapat memberikan penjelasan terlalu tinggi atau terlalu dangkal. Guru harus memasukkan konteks dalam prompt: jenjang, topik, tujuan, prasyarat, bentuk kegiatan, batas materi, dan karakter siswa. Tanpa konteks, keluaran AI dapat tidak sesuai kebutuhan kelas.

Tantangan kedelapan belas adalah **evaluasi efektivitas AI dalam pembelajaran kimia**. Tidak semua penggunaan AI otomatis meningkatkan hasil belajar. Guru dan dosen perlu mengevaluasi apakah AI benar-benar membantu pemahaman, mengurangi miskonsepsi, meningkatkan motivasi, memperkuat keterampilan data, atau memperbaiki kualitas asesmen. Evaluasi dapat dilakukan melalui pretest-posttest, analisis jawaban siswa, observasi kelas, wawancara, refleksi, atau portofolio. Tanpa evaluasi, penggunaan AI mudah menjadi dekorasi teknologi. Kajian tentang AI dalam pendidikan kimia menekankan perlunya integrasi sistematis dan evaluasi terhadap tantangan etis, teknis, serta edukasional.

Tantangan kesembilan belas adalah **menjaga keseimbangan antara pembelajaran digital dan pengalaman nyata**. Pembelajaran kimia tidak boleh berubah menjadi sepenuhnya layar, teks, dan chatbot. Siswa tetap perlu melakukan pengamatan, eksperimen, diskusi, menggambar struktur, menyelesaikan soal secara mandiri, dan berargumentasi dengan teman. AI dapat memperkaya pembelajaran digital, tetapi kimia tetap membutuhkan pengalaman empiris dan sosial. Laboratorium virtual berguna, tetapi laboratorium nyata tetap penting. Chatbot berguna, tetapi dialog guru-siswa tetap tidak tergantikan. Visualisasi berguna, tetapi manipulasi model fisik dan eksperimen konkret juga penting.

Tantangan kedua puluh adalah **pengembangan budaya kritis terhadap AI**. Integrasi AI yang sehat membutuhkan budaya bertanya: apakah jawaban AI benar? Dari mana sumbernya? Apakah sesuai konsep kimia? Apakah ada bias? Apakah aman? Apakah etis? Apakah sesuai tujuan pembelajaran? Apakah siswa benar-benar belajar? Budaya kritis ini perlu dibangun secara eksplisit. Siswa dan mahasiswa tidak boleh hanya diajarkan menggunakan AI, tetapi juga menguji AI. Dalam kelas kimia, kesalahan AI dapat dijadikan bahan diskusi untuk melatih literasi AI dan literasi kimia sekaligus.

Dalam menghadapi tantangan-tantangan tersebut, integrasi AI perlu mengikuti beberapa prinsip. Pertama, **pedagogi mendahului teknologi**. Guru harus mulai dari tujuan pembelajaran, bukan dari aplikasi. Kedua, **validitas kimia wajib dijaga**. Semua keluaran AI harus diperiksa. Ketiga, **AI digunakan untuk memperkuat proses berpikir**, bukan menggantikan berpikir. Keempat, **data dan privasi peserta didik harus dilindungi**. Kelima, **asesmen harus dirancang ulang** agar menilai proses, argumentasi, dan pemahaman. Keenam, **konteks lokal harus diperhatikan**. Ketujuh, **penggunaan AI harus transparan dan etis**.

Di sekolah, integrasi AI dapat dimulai dari langkah sederhana. Guru dapat menggunakan AI untuk membantu membuat variasi penjelasan, pertanyaan diagnostik, LKPD, atau rubrik. Guru tidak harus langsung meminta semua siswa menggunakan AI. Setelah guru lebih siap, AI dapat digunakan dalam aktivitas terbimbing, misalnya membandingkan jawaban AI dengan buku teks, mengkritisi penjelasan AI, atau menggunakan AI untuk membuat pertanyaan reflektif. Pendekatan bertahap lebih aman daripada langsung menerapkan AI secara luas tanpa kesiapan.

Di perguruan tinggi, terutama program pendidikan kimia, integrasi AI perlu lebih sistematis. Mahasiswa calon guru perlu mempelajari konsep AI, prompt engineering, validasi konten, etika, desain bahan ajar, asesmen, praktikum virtual, pembelajaran adaptif, dan proyek akhir. Mereka perlu menghasilkan portofolio perangkat pembelajaran berbasis AI, bukan hanya makalah. Mereka juga perlu menunjukkan proses validasi dan refleksi. Dengan cara ini, perguruan tinggi menyiapkan calon guru yang tidak hanya mampu menggunakan AI, tetapi mampu memimpin pembelajaran kimia berbasis AI secara bertanggung jawab.

Dalam konteks kelembagaan, sekolah dan universitas perlu menyediakan pedoman. Pedoman dapat mencakup penggunaan AI dalam tugas, pelaporan bantuan AI, larangan memalsukan data, perlindungan privasi, validasi sumber, penggunaan AI dalam asesmen, dan standar etika. Tanpa pedoman, guru dan siswa akan membuat aturan sendiri-sendiri yang tidak konsisten. UNESCO menekankan bahwa pengembangan kapasitas manusia dan tata kelola diperlukan agar AI dalam pendidikan tetap human-centered dan bertanggung jawab.

Tantangan integrasi AI juga membuka peluang riset pendidikan kimia. Peneliti dapat mengkaji bagaimana AI memengaruhi pemahaman konsep, bagaimana prompt engineering meningkatkan kualitas bahan ajar, bagaimana chatbot memengaruhi belajar mandiri, bagaimana AI membantu diagnosis miskonsepsi, bagaimana virtual laboratory berbantuan AI memengaruhi keterampilan praktikum, dan bagaimana kebijakan AI memengaruhi integritas akademik. Riset semacam ini penting agar integrasi AI tidak hanya berbasis asumsi, tetapi berdasarkan bukti.

Dengan demikian, integrasi AI dalam pembelajaran kimia sekolah dan perguruan tinggi menghadapi tantangan yang luas: validitas konten, halusinasi, kesiapan pendidik, literasi AI, akses teknologi, kurikulum, kebijakan, integritas akademik, privasi, bias, keselamatan laboratorium, kualitas visualisasi, ketergantungan, beban kerja, referensi akademik, bahasa, karakteristik peserta didik, evaluasi efektivitas, keseimbangan digital-empiris, dan budaya kritis. Tantangan ini tidak menjadi alasan untuk menolak AI, tetapi menjadi alasan untuk mengintegrasikannya secara lebih hati-hati, bertahap, dan bertanggung jawab.

AI dapat menjadi teknologi yang sangat kuat dalam pendidikan kimia jika digunakan dengan benar. Namun, kekuatannya tidak terletak pada kemampuan menghasilkan teks cepat, melainkan pada kemampuannya membantu guru merancang pembelajaran yang lebih visual, adaptif, berbasis data, reflektif, dan kontekstual. Tantangan utama bukan "apakah AI akan digunakan", tetapi "bagaimana AI digunakan agar tetap sesuai dengan hakikat kimia, tujuan pendidikan, keselamatan, etika, dan pengembangan manusia". Pada titik inilah guru, dosen, dan calon guru kimia memiliki peran yang tidak tergantikan.

Simpulan Bab 2

Bab 2 telah membahas karakteristik pembelajaran kimia dan kebutuhan teknologi AI. Pembahasan dimulai dari hakikat kimia sebagai ilmu tentang materi dan perubahannya. Kimia tidak hanya menjelaskan zat yang terlihat, tetapi juga struktur, sifat, perubahan, energi, interaksi partikel, dan simbol yang digunakan untuk merepresentasikan fenomena tersebut. Karena itu, pembelajaran kimia menuntut hubungan antara pengalaman empiris, model partikel, simbol, data, dan penalaran ilmiah.

Bab ini menegaskan bahwa kimia memiliki karakter abstrak yang tinggi. Banyak konsep kimia berada pada level submikroskopik dan tidak dapat diamati langsung, seperti atom, ion, molekul, elektron, orbital, ikatan, gaya antarmolekul, energi aktivasi, kesetimbangan dinamis, dan mekanisme reaksi. Abstraksi ini membuat peserta didik membutuhkan visualisasi, simulasi, analogi, model, dan scaffolding yang tepat. AI dapat membantu menyediakan berbagai bentuk dukungan tersebut, tetapi tetap harus divalidasi secara ilmiah.

Pembahasan tiga level representasi kimia menunjukkan bahwa pemahaman kimia yang baik memerlukan keterhubungan antara level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Peserta didik harus mampu menjelaskan apa yang diamati, apa yang terjadi pada partikel, dan bagaimana fenomena dituliskan dalam bahasa simbolik kimia. Banyak kesulitan belajar dan miskonsepsi muncul ketika ketiga level ini tidak terhubung. AI dapat membantu membuat bahan ajar multirepresentasi, pertanyaan diagnostik, visualisasi, dan umpan balik, tetapi guru tetap menjadi penentu akurasi.

Bab ini juga menguraikan berbagai penyebab kesulitan belajar kimia, seperti abstraksi konsep, bahasa simbolik, beban kognitif, lemahnya konsep prasyarat, miskonsepsi, kesulitan matematika, kurangnya pengalaman laboratorium, kemampuan spasial, bahasa teknis, strategi pembelajaran yang terlalu hafalan, rendahnya motivasi, kurangnya konteks, media yang tidak tepat, dan minimnya asesmen formatif. AI dapat membantu mengatasi sebagian kesulitan tersebut melalui diagnosis, diferensiasi, visualisasi, simulasi, dan umpan balik, tetapi tidak boleh digunakan tanpa pemahaman pedagogis.

Miskonsepsi dalam pembelajaran kimia dibahas sebagai salah satu tantangan terbesar. Miskonsepsi tidak sekadar menunjukkan bahwa siswa tidak tahu, tetapi menunjukkan bahwa siswa memiliki pemahaman alternatif yang diyakini benar. Miskonsepsi dapat terjadi pada struktur atom, ikatan kimia, gaya antarmolekul, stoikiometri, larutan, asam-basa, kesetimbangan, kinetika,

termodinamika, elektrokimia, dan kimia organik. AI dapat membantu membuat pertanyaan diagnostik, distractor berbasis miskonsepsi, dan umpan balik korektif, tetapi AI juga dapat menjadi sumber miskonsepsi baru jika tidak divalidasi.

Bab ini juga menekankan pentingnya visualisasi molekul dan representasi partikel. Visualisasi membantu siswa membangun model mental tentang dunia submikroskopik. AI dapat membantu membuat media visual, simulasi, animasi, tabel representasi, dan prompt gambar pembelajaran. Namun, visualisasi berbasis AI harus diperiksa karena gambar yang indah belum tentu benar secara kimia. Kesalahan dalam struktur, ikatan, geometri, muatan, atau alat laboratorium dapat memperkuat miskonsepsi.

Pembahasan eksperimen, data, dan penalaran ilmiah menegaskan bahwa kimia tetap merupakan ilmu eksperimental. AI dan teknologi digital dapat membantu perencanaan praktikum, virtual laboratory, analisis data, rubrik, dan refleksi. Namun, pengalaman empiris, keselamatan kerja, kejujuran data, dan penalaran ilmiah tidak boleh digantikan oleh AI. AI harus digunakan untuk memperkuat pembelajaran berbasis bukti, bukan untuk membuat laporan praktikum otomatis tanpa pemahaman.

Bab ini juga menjelaskan peran AI dalam menjembatani konsep abstrak dan pengalaman konkret. AI dapat membangun jembatan representasional, visual, simulatif, bahasa, analogi, diagnostik, umpan balik, data, personalisasi, kreativitas, dan scaffolding. Dengan desain yang baik, AI dapat membantu siswa menghubungkan fenomena nyata, proses partikel, simbol kimia, data eksperimen, dan konsep ilmiah. Namun, jembatan tersebut harus dibangun secara valid, etis, dan pedagogis.

Akhirnya, bab ini menutup dengan tantangan integrasi AI dalam pembelajaran kimia sekolah dan perguruan tinggi. Tantangan tersebut mencakup validitas konten, halusinasi, kesiapan pendidik, literasi AI, akses teknologi, kurikulum, kebijakan kelas, integritas akademik, privasi, bias algoritmik, keselamatan laboratorium, kualitas visualisasi, ketergantungan, beban kerja guru, referensi akademik, bahasa, karakteristik peserta didik, evaluasi efektivitas, keseimbangan digital-empiris, dan budaya kritis. Kesimpulan utama Bab 2 adalah bahwa AI dibutuhkan dalam pembelajaran kimia karena karakter kimia yang abstrak, representasional, eksperimental, dan berbasis data; tetapi AI harus selalu digunakan dalam kerangka validasi ilmiah, etika, keselamatan, dan desain pedagogis yang kuat.

Daftar Pustaka Bab 2

Denny, P., Gulwani, S., Heffernan, N. T., Käser, T., Moore, S., Rafferty, A. N., & Singla, A. (2024). *Generative AI for education (GAIED): Advances, opportunities, and challenges*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2402.01580

Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (Eds.). (2009). *Multiple representations in chemical education*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8

Huwer, J., Seibert, J., Thyssen, C., & Schreiber, M. (2025). AI in chemistry and chemical education. *International Journal of Physics and Chemistry Education*. https://ijpce.org/index.php/IJPCE/article/view/403

Łodzikowski, K., Foltz, P. W., & Behrens, J. T. (2023). *Generative AI and its educational implications*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2401.08659

Miao, F., & Holmes, W. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO. https://www.unesco.org/en/articles/guidance-generative-ai-education-and-research

Rahmawati, Y., Ridwan, A., Cahyana, U., & Wuryaningsih, T. (2020). The integration of ethnopedagogy in science learning to improve student engagement and cultural awareness. *Universal Journal of Educational Research, 8*(2), 662–671. Data bibliografis perlu diverifikasi ulang sebelum naskah final.

Reid, N. (2021). *The Johnstone triangle: The key to understanding chemistry*. Royal Society of Chemistry. Data bibliografis perlu diverifikasi ulang sebelum naskah final.

Taber, K. S. (2002). *Chemical misconceptions: Prevention, diagnosis and cure*. Royal Society of Chemistry. https://science-education-research.com/publications/books/chemical-misconceptions-prevention-diagnosis-and-cure-classroom-resources/

Towns, M. H., & Kraft, A. (2012). Review and synthesis of research in chemical education from 2000–2010. *Journal of Chemical Education, 89*(8), 992–1002. https://doi.org/10.1021/ed3002214

UNESCO. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO. https://www.unesco.org/en/articles/guidance-generative-ai-education-and-research

Vergara, D., Extremera, J., Rubio, M. P., & Dávila, L. P. (2021). The technological obsolescence of virtual reality learning environments. *Applied Sciences, 10*(3), 915. Data bibliografis perlu diverifikasi ulang sebelum naskah final.

Widarti, H. R., Permanasari, A., Mulyani, S., & Wiji. (2016). Student misconceptions on chemical bonding. *International Journal of Science and Research*. Data bibliografis perlu diverifikasi ulang sebelum naskah final.

Yuriev, E. (2025). Generative AI in chemistry education: Current progress and future directions. *Journal of Chemical Education*. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c01105

BAB 3

Prompt Engineering untuk Pembelajaran Kimia

3.1 Pengertian Prompt Engineering dalam Konteks Pembelajaran Kimia

Prompt engineering merupakan keterampilan merancang, menyusun, menguji, memperbaiki, dan mengevaluasi instruksi yang diberikan kepada sistem kecerdasan buatan agar menghasilkan keluaran yang relevan, akurat, terarah, dan sesuai tujuan. Dalam konteks generative AI, prompt adalah masukan yang diberikan pengguna kepada model AI, baik berupa pertanyaan, perintah, konteks, contoh, batasan, format keluaran, maupun kriteria kualitas. Prompt engineering berarti proses merancang masukan tersebut secara sadar agar AI tidak hanya memberikan jawaban umum, tetapi menghasilkan respons yang sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Dalam pembelajaran kimia, prompt engineering tidak cukup dipahami sebagai keterampilan "bertanya kepada AI". Ia harus dipahami sebagai **keterampilan pedagogis-teknologis** yang menghubungkan tujuan pembelajaran kimia, karakteristik peserta didik, struktur konsep kimia, representasi makroskopik-submikroskopik-simbolik, asesmen, etika, dan validasi ilmiah. Guru atau calon guru kimia tidak hanya perlu membuat prompt yang menghasilkan teks panjang, tetapi prompt yang menghasilkan bahan ajar, LKPD, soal, rubrik, simulasi, visualisasi, umpan balik, atau aktivitas kelas yang benar secara kimia dan bermanfaat secara pedagogis.

File deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia* menempatkan prompt engineering sebagai salah satu ruang lingkup materi utama. Dokumen tersebut menyatakan bahwa mahasiswa perlu mempelajari cara menyusun prompt yang jelas, kontekstual, bertahap, dan berbasis tujuan pembelajaran. Prompt digunakan untuk menghasilkan bahan ajar, soal, eksperimen, simulasi, ringkasan konsep, analogi, skenario diskusi, serta umpan balik pembelajaran. Dengan demikian, prompt engineering dalam mata kuliah ini bukan sekadar kompetensi teknis, tetapi menjadi bagian dari kompetensi profesional pendidik kimia.

Secara umum, prompt engineering berkembang seiring meningkatnya penggunaan Large Language Models dan generative AI. Dalam kajian sistematis tentang prompt engineering pada LLM, prompt dipahami sebagai instruksi yang mengarahkan model untuk menghasilkan perilaku atau keluaran tertentu tanpa mengubah parameter dasar model. Prompt dapat berupa instruksi bahasa alami, konteks tugas, contoh, format jawaban, atau struktur interaksi yang membantu model memahami apa yang diharapkan pengguna. Dalam pendidikan, prompt engineering menjadi penting karena kualitas keluaran AI sangat dipengaruhi oleh kualitas instruksi yang diberikan pengguna.

Dalam konteks pendidikan tinggi, kajian sistematis tentang prompt engineering menunjukkan bahwa prompt engineering dapat mendukung penggunaan generative AI dalam pembelajaran, penulisan, umpan balik, pemecahan masalah, dan pengembangan kurikulum, tetapi penggunaannya memerlukan literasi kritis agar tidak mengurangi otonomi belajar dan integritas akademik. Dalam pendidikan kimia, isu ini menjadi lebih spesifik karena prompt tidak hanya harus

baik secara linguistik, tetapi juga harus memuat batasan kimia yang benar. Prompt yang tidak spesifik dapat menghasilkan penjelasan yang terdengar ilmiah tetapi salah secara konsep.

Sebagai contoh, prompt sederhana seperti "jelaskan ikatan kimia" terlalu umum. AI mungkin menghasilkan penjelasan umum tentang ikatan ionik, kovalen, dan logam, tetapi belum tentu sesuai jenjang siswa, belum tentu mengaitkan dengan konfigurasi elektron, belum tentu menyebut kemungkinan miskonsepsi, dan belum tentu membedakan ikatan intramolekul serta gaya antarmolekul. Prompt yang lebih pedagogis dapat berbunyi: "Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas X. Jelaskan perbedaan ikatan ionik, kovalen, dan logam dengan bahasa sederhana. Hubungkan dengan konfigurasi elektron, berikan contoh zat, jelaskan miskonsepsi umum, dan akhiri dengan lima pertanyaan diagnostik." Prompt kedua lebih efektif karena memuat peran, konteks, target peserta didik, batasan materi, format keluaran, dan tujuan pembelajaran.

Dalam prompt engineering untuk pembelajaran kimia, komponen pertama yang harus diperhatikan adalah **tujuan pembelajaran**. Prompt yang baik harus dimulai dari pertanyaan: kemampuan apa yang ingin dibangun? Apakah siswa diminta memahami konsep, menyelesaikan soal, menganalisis data, mengembangkan model, melakukan praktikum, membuat argumen, atau merefleksikan pembelajaran? Jika tujuan tidak jelas, keluaran AI cenderung umum. Misalnya, prompt untuk "membuat materi asam-basa" harus dibedakan dari prompt untuk "membuat pertanyaan diagnostik miskonsepsi asam-basa", "membuat LKPD titrasi", atau "membuat rubrik penilaian proyek indikator alami".

Komponen kedua adalah **konteks peserta didik**. Pembelajaran kimia sangat bergantung pada jenjang, kemampuan awal, kurikulum, dan pengalaman belajar siswa. Penjelasan tentang orbital untuk siswa SMA tentu berbeda dari penjelasan untuk mahasiswa kimia fisik. Soal stoikiometri untuk pemula berbeda dari soal pereaksi pembatas tingkat lanjut. Prompt yang baik perlu menyebut target: siswa SMP, SMA kelas X, mahasiswa pendidikan kimia, calon guru, atau peserta pelatihan guru. Prompt juga dapat menyebut prasyarat yang sudah dikuasai atau belum dikuasai siswa.

Komponen ketiga adalah **konteks kimia**. Karena kimia memiliki representasi khusus, prompt harus menjelaskan ruang lingkup konsep yang diinginkan. Misalnya, pada topik larutan elektrolit, guru dapat meminta AI menjelaskan perbedaan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit dengan mengaitkan fenomena lampu menyala, ion dalam larutan, dan persamaan ionisasi. Pada topik kesetimbangan, guru dapat meminta AI menekankan bahwa kesetimbangan bersifat dinamis dan tidak berarti reaksi berhenti. Semakin jelas konteks kimia dalam prompt, semakin besar peluang AI menghasilkan keluaran yang berguna.

Komponen keempat adalah **format keluaran**. AI dapat menghasilkan teks panjang, tabel, daftar langkah, skenario pembelajaran, LKPD, rubrik, soal, dialog, peta konsep, atau pertanyaan reflektif. Guru perlu menyebut format yang diinginkan agar keluaran lebih mudah digunakan. Misalnya, "buatkan tabel tiga kolom: level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik" akan lebih terarah daripada "jelaskan reaksi pengendapan". Format membantu AI mengorganisasi informasi sesuai kebutuhan pembelajaran.

Komponen kelima adalah **batasan dan kriteria kualitas**. Prompt yang baik perlu menyebutkan apa yang harus dihindari. Dalam kimia, batasan sangat penting. Guru dapat menulis: “hindari analogi yang menyatakan atom memiliki kehendak”, “jangan menyarankan praktikum berbahaya”, “gunakan bahan yang aman untuk sekolah”, “jelaskan bahwa model hanya representasi”, atau “pastikan persamaan reaksi setara”. Batasan semacam ini mengurangi risiko keluaran AI yang keliru atau tidak sesuai konteks.

Komponen keenam adalah **validasi dan refleksi**. Prompt engineering yang baik tidak berhenti pada menghasilkan keluaran. Guru perlu meminta AI menyertakan bagian “potensi miskonsepsi”, “hal yang perlu diverifikasi”, atau “catatan batas model”. Misalnya, dalam prompt visualisasi bentuk molekul, guru dapat menambahkan: “sertakan catatan tentang potensi miskonsepsi yang mungkin muncul dari model bola-batang.” Dalam prompt praktikum, guru dapat menambahkan: “sertakan aspek keselamatan kerja dan hal yang harus diverifikasi oleh guru sebelum digunakan.” Ini membantu menjadikan AI sebagai alat bantu reflektif, bukan sekadar generator materi.

Dalam pembelajaran kimia, prompt engineering memiliki fungsi yang sangat luas. Fungsi pertama adalah **menghasilkan penjelasan konsep**. Guru dapat menggunakan AI untuk menjelaskan konsep sulit dengan beberapa versi: versi sederhana, versi analogi, versi multirepresentasi, versi berbasis eksperimen, atau versi untuk remedial. Misalnya, konsep kesetimbangan dapat dijelaskan melalui fenomena warna, model partikel, grafik konsentrasi, dan persamaan Kc. Prompt yang baik akan mengarahkan AI agar penjelasan tidak berhenti pada definisi, tetapi menghubungkan representasi.

Fungsi kedua adalah **mengembangkan bahan ajar**. AI dapat membantu membuat modul, handout, ringkasan, glosarium, peta konsep, infografik, slide, atau bahan pengayaan. File deskripsi mata kuliah menyebut bahwa AI digunakan untuk menyusun modul, LKPD, media pembelajaran, soal HOTS, rubrik, peta konsep, infografik, simulasi eksperimen, virtual laboratory, animasi molekul, dan analisis miskonsepsi. Namun, agar bahan ajar tidak dangkal, prompt harus menyertakan tujuan, struktur, jenjang, format, contoh, dan kebutuhan validasi.

Fungsi ketiga adalah **menyusun LKPD dan aktivitas kelas**. Prompt dapat digunakan untuk membuat LKPD berbasis inquiry, problem-based learning, project-based learning, STEM, atau pembelajaran diferensiasi. Misalnya, guru dapat meminta AI membuat LKPD tentang uji larutan elektrolit yang memuat tujuan, pertanyaan pemantik, prediksi, alat-bahan, prosedur aman, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, hubungan makro-submikro-simbolik, dan refleksi. Prompt seperti ini mengubah AI menjadi asisten desain pembelajaran.

Fungsi keempat adalah **mengembangkan asesmen**. Prompt engineering dapat membantu guru membuat kisi-kisi, soal pilihan ganda, soal uraian, soal HOTS, soal diagnostik miskonsepsi, rubrik, dan umpan balik. Namun, prompt asesmen harus sangat spesifik. Soal HOTS tidak cukup hanya panjang atau kontekstual; soal harus menuntut analisis, evaluasi, transfer konsep, atau argumentasi. Guru perlu meminta AI menyertakan indikator, level kognitif, kunci jawaban, alasan, rubrik, dan potensi miskonsepsi. Setelah itu, guru wajib memvalidasi.

Fungsi kelima adalah **mendukung praktikum dan laboratorium virtual**. Prompt dapat digunakan untuk merancang praktikum sederhana, prosedur eksperimen, tabel data, pertanyaan

inkuiri, analisis data, sumber kesalahan, dan keselamatan kerja. Artikel *Journal of Chemical Education* tentang penggunaan ChatGPT untuk mendesain aktivitas laboratorium kimia menunjukkan bahwa prompt engineering dapat membuka peluang dalam perancangan kegiatan laboratorium, tetapi kelayakan ilmiah, pedagogis, dan keselamatan tetap harus diperiksa. Dalam konteks ini, prompt praktikum harus selalu memuat batasan keselamatan dan kewajiban verifikasi guru.

Fungsi keenam adalah **membantu analisis miskonsepsi**. Guru dapat meminta AI menghasilkan daftar miskonsepsi potensial, pertanyaan diagnostik, distraktor berbasis miskonsepsi, atau umpan balik korektif. Namun, daftar miskonsepsi dari AI perlu diverifikasi dengan literatur pendidikan kimia dan pengalaman guru. AI dapat membantu mempercepat identifikasi awal, tetapi tidak boleh dianggap sebagai sumber final.

Fungsi ketujuh adalah **mendukung pembelajaran diferensiasi**. Prompt dapat digunakan untuk membuat tiga versi materi: remedial, reguler, dan pengayaan. Misalnya, pada materi mol, versi remedial dapat menjelaskan hubungan mol dengan jumlah partikel dan massa secara sederhana; versi reguler dapat mencakup perhitungan stoikiometri dasar; versi pengayaan dapat mengaitkan mol dengan analisis komposisi atau proses industri. Dengan prompt yang baik, AI dapat membantu guru menyiapkan variasi pembelajaran yang lebih sesuai dengan kebutuhan siswa.

Fungsi kedelapan adalah **mendorong refleksi dan metakognisi**. Prompt dapat digunakan untuk membuat pertanyaan reflektif seperti: “Bagian mana dari konsep ini yang paling sulit?”, “Bagaimana kamu tahu jawabanmu benar?”, “Apa hubungan antara data eksperimen dan kesimpulan?”, “Apa batas model yang digunakan?” Pertanyaan semacam ini membantu mindful learning. AI juga dapat membantu siswa merevisi pemahamannya jika digunakan sebagai alat dialog reflektif, bukan sebagai pemberi jawaban final.

Walaupun prompt engineering memiliki banyak fungsi, ada beberapa kesalahpahaman yang perlu dihindari. Kesalahpahaman pertama adalah menganggap prompt engineering sebagai trik teknis untuk “memaksa” AI memberi jawaban sempurna. Pada kenyataannya, prompt yang baik dapat meningkatkan kualitas keluaran, tetapi tidak menjamin kebenaran mutlak. AI tetap dapat keliru. Oleh karena itu, prompt engineering harus disertai validasi.

Kesalahpahaman kedua adalah menganggap prompt panjang pasti lebih baik. Prompt yang terlalu panjang tetapi tidak terstruktur dapat membingungkan. Prompt yang baik bukan sekadar panjang, tetapi jelas, terarah, kontekstual, dan memiliki kriteria output. Dalam pembelajaran kimia, prompt yang efektif biasanya memuat tujuan, jenjang, konsep, batasan, format, dan validasi. Kejelasan lebih penting daripada panjang semata.

Kesalahpahaman ketiga adalah menganggap AI memahami maksud guru secara otomatis. AI hanya merespons berdasarkan informasi yang diberikan dan pola yang dimilikinya. Jika guru tidak menyebut jenjang siswa, AI dapat memberi penjelasan terlalu tinggi. Jika guru tidak menyebut keselamatan, AI dapat menyarankan praktikum yang kurang aman. Jika guru tidak menyebut bahwa model harus dibatasi, AI dapat memberi analogi yang terlalu literal. Karena itu, prompt harus menyatakan kebutuhan secara eksplisit.

Kesalahpahaman keempat adalah menganggap prompt engineering dapat menggantikan penguasaan kimia. Justru sebaliknya, semakin baik penguasaan kimia guru, semakin baik prompt yang dapat disusun dan semakin kuat validasi yang dapat dilakukan. Guru yang memahami konsep ikatan, kesetimbangan, elektrokimia, atau termodinamika dapat memberikan batasan yang lebih tepat dalam prompt. Guru yang tidak memahami konsep mudah menerima keluaran AI yang keliru. Dengan demikian, prompt engineering bergantung pada penguasaan konten.

Kesalahpahaman kelima adalah menganggap prompt engineering bebas dari etika. Prompt dapat digunakan untuk tujuan produktif, tetapi juga dapat digunakan untuk menghindari belajar, menyalin tugas, membuat laporan palsu, atau menghasilkan sitasi tidak valid. Dalam pendidikan kimia, etika prompt penting terutama pada tugas, laporan praktikum, penulisan akademik, dan asesmen. Guru perlu mengajarkan kepada siswa bahwa prompt harus digunakan untuk belajar, bukan untuk menipu.

Dalam konteks calon guru kimia, prompt engineering harus dilatih melalui praktik bertahap. Tahap pertama adalah **mengenal prompt dasar**, yaitu memberi instruksi sederhana kepada AI. Tahap kedua adalah **menambahkan konteks**, seperti jenjang siswa dan tujuan pembelajaran. Tahap ketiga adalah **menentukan format**, seperti tabel, LKPD, soal, rubrik, atau skenario. Tahap keempat adalah **menambahkan batasan**, seperti akurasi konsep, keselamatan, atau potensi miskonsepsi. Tahap kelima adalah **mengevaluasi dan merevisi keluaran**. Tahap keenam adalah **mendokumentasikan proses prompting** sebagai bagian dari portofolio pembelajaran.

Studi tentang penggunaan generative AI oleh calon guru kimia menunjukkan bahwa mahasiswa sering memulai dengan strategi prompt yang sederhana dan cenderung menyalin-tempel, sehingga diperlukan pembelajaran eksplisit untuk meningkatkan kemampuan prompting. Temuan ini penting karena menunjukkan bahwa kemampuan menggunakan AI tidak otomatis berkembang hanya karena mahasiswa sering memakai teknologi. Mereka perlu diberi latihan, rubrik, contoh, umpan balik, dan kesempatan merevisi prompt.

Dalam pembelajaran kimia, prompt engineering dapat dikaitkan dengan TPACK, yaitu integrasi antara pengetahuan teknologi, pedagogi, dan konten. Prompt yang baik memerlukan ketiganya. Pengetahuan teknologi membantu guru memahami cara AI bekerja dan bagaimana menyusun instruksi. Pengetahuan pedagogi membantu guru menetapkan tujuan, aktivitas, asesmen, dan scaffolding. Pengetahuan konten membantu guru memastikan akurasi kimia. Jika salah satu unsur lemah, prompt menjadi kurang efektif. Prompt yang kuat adalah hasil integrasi teknologi, pedagogi, dan kimia.

Sebagai contoh, prompt untuk membuat LKPD praktikum larutan elektrolit memerlukan pengetahuan konten tentang ionisasi dan daya hantar listrik, pengetahuan pedagogi tentang inquiry dan asesmen diagnostik, serta pengetahuan teknologi tentang cara meminta AI membuat format LKPD. Prompt dapat berbunyi: “Bertindaklah sebagai guru kimia SMA. Buat LKPD berbasis inkuiri tentang uji daya hantar larutan elektrolit dan nonelektrolit. Sertakan tujuan, pertanyaan pemantik, prediksi siswa, alat-bahan yang aman, prosedur, tabel pengamatan, pertanyaan analisis makro-submikro-simbolik, miskonsepsi yang mungkin muncul, dan rubrik penilaian. Jangan menyarankan bahan berbahaya.” Prompt seperti ini jauh lebih pedagogis daripada “buat LKPD elektrolit”.

Prompt engineering juga dapat membantu guru mengembangkan **prompt library** atau perpustakaan prompt. Prompt library berisi kumpulan prompt yang telah diuji, direvisi, dan divalidasi untuk berbagai kebutuhan pembelajaran kimia. Misalnya, prompt untuk membuat soal diagnostik, prompt untuk visualisasi molekul, prompt untuk LKPD praktikum, prompt untuk rubrik proyek, prompt untuk umpan balik jawaban siswa, prompt untuk bahan remedial, dan prompt untuk refleksi etis. Prompt library membantu guru bekerja lebih efisien dan menjaga konsistensi kualitas.

Namun, prompt library tidak boleh dipakai secara mekanis. Setiap prompt tetap perlu disesuaikan dengan topik, jenjang, kurikulum, dan kondisi kelas. Prompt untuk siswa SMA di sekolah dengan laboratorium lengkap mungkin berbeda dari prompt untuk sekolah dengan alat terbatas. Prompt untuk mahasiswa pendidikan kimia berbeda dari prompt untuk siswa kelas X. Dengan demikian, prompt library adalah sumber awal, bukan template kaku yang selalu cocok.

Prompt engineering juga dapat mendukung **pembelajaran berbasis masalah**. Guru dapat meminta AI membuat skenario masalah kimia yang kontekstual, misalnya pencemaran air, korosi, baterai, pengawet makanan, pemilihan bahan kemasan, atau kualitas udara. Prompt yang baik perlu menyebut bahwa skenario harus memuat data, pertanyaan analisis, konsep kimia terkait, dan batasan informasi. Guru kemudian memvalidasi fakta dan menyesuaikan konteks lokal. Dengan cara ini, AI membantu menyediakan konteks belajar yang lebih kaya.

Prompt engineering dapat mendukung **praktik literasi AI siswa**. Guru tidak hanya menggunakan prompt untuk dirinya sendiri, tetapi juga mengajarkan siswa membuat prompt belajar. Misalnya, siswa diajarkan bertanya kepada AI: “Jangan langsung beri jawaban. Beri saya petunjuk bertahap untuk menyelesaikan soal stoikiometri berikut.” Atau: “Periksa penjelasan saya tentang kesetimbangan kimia dan beri masukan pada bagian yang kurang tepat.” Prompt semacam ini membantu siswa menggunakan AI sebagai tutor belajar, bukan mesin jawaban.

Namun, siswa juga perlu diajarkan prompt etis. Mereka harus memahami bahwa prompt seperti “buatkan laporan praktikum lengkap berdasarkan data palsu” tidak dapat dibenarkan. Mereka juga perlu memahami bahwa penggunaan AI dalam tugas harus transparan sesuai aturan guru. Dengan demikian, prompt engineering untuk siswa bukan hanya keterampilan teknis, tetapi juga pendidikan integritas akademik.

Dalam konteks penilaian, kemampuan prompt engineering mahasiswa calon guru dapat dinilai melalui beberapa indikator. Pertama, apakah prompt memuat tujuan pembelajaran yang jelas. Kedua, apakah prompt menyebut jenjang dan karakter peserta didik. Ketiga, apakah prompt menjelaskan topik kimia secara tepat. Keempat, apakah prompt meminta format keluaran yang sesuai. Kelima, apakah prompt menyertakan batasan keselamatan, etika, dan validasi. Keenam, apakah mahasiswa mampu mengevaluasi keluaran AI. Ketujuh, apakah mahasiswa mampu merevisi prompt berdasarkan hasil evaluasi. Kedelapan, apakah produk akhir layak digunakan dalam pembelajaran.

Prompt engineering juga perlu dikaitkan dengan **evaluasi keluaran**. Setelah AI memberi respons, guru harus menilai: apakah konsep kimia benar? Apakah persamaan reaksi tepat? Apakah level representasi terhubung? Apakah bahasa sesuai siswa? Apakah soal mengukur indikator? Apakah

rubrik jelas? Apakah praktikum aman? Apakah ada potensi miskonsepsi? Apakah sumber perlu diverifikasi? Tanpa evaluasi ini, prompt engineering belum lengkap. Prompt yang baik bukan hanya prompt yang menghasilkan output, tetapi prompt yang diikuti oleh proses validasi dan perbaikan.

Dalam pembelajaran kimia, prompt engineering juga perlu memperhatikan **bahasa Indonesia ilmiah**. Banyak AI kuat dalam bahasa Inggris, tetapi pembelajaran kimia di Indonesia membutuhkan istilah yang tepat dalam bahasa Indonesia. Guru perlu memastikan istilah seperti pereaksi pembatas, tetapan kesetimbangan, energi aktivasi, gaya antarmolekul, bilangan oksidasi, dan larutan penyangga digunakan secara konsisten. Prompt dapat menyebut: "gunakan istilah kimia bahasa Indonesia yang baku dan sertakan istilah Inggris dalam tanda kurung hanya jika diperlukan." Ini membantu menjaga kualitas bahasa akademik.

Prompt engineering juga dapat membantu menjaga **keselamatan dalam praktikum**. Setiap prompt yang meminta rancangan praktikum perlu memasukkan batasan: gunakan bahan aman, hindari bahan berbahaya, sertakan alat pelindung diri, sertakan prosedur pembuangan limbah, dan nyatakan bahwa rancangan harus diverifikasi guru/laboran. Tanpa batasan ini, AI dapat menyarankan prosedur yang tidak sesuai. Dalam kimia, keselamatan tidak boleh diasumsikan; harus ditulis eksplisit dalam prompt.

Prompt engineering juga dapat digunakan untuk memperkuat **validitas sumber**. Jika AI diminta membuat penjelasan akademik, prompt dapat menyebut: "jangan membuat referensi palsu; jika menyebut referensi, gunakan sumber yang dapat diverifikasi; jika tidak yakin, beri catatan perlu verifikasi." Hal ini penting karena generative AI dapat menghasilkan sitasi yang tidak ada. Dalam penulisan akademik, guru dan mahasiswa harus memeriksa ulang semua referensi melalui database atau situs resmi jurnal.

Secara pedagogis, prompt engineering yang baik membantu mengubah AI dari mesin jawaban menjadi **mitra desain pembelajaran**. AI tidak lagi hanya digunakan untuk menjawab "apa itu larutan penyangga?", tetapi untuk membantu guru merancang pengalaman belajar: bagaimana memulai dari fenomena, bagaimana mengungkap miskonsepsi, bagaimana membuat simulasi, bagaimana memberi latihan bertahap, bagaimana menilai, dan bagaimana merefleksikan. Perubahan ini sangat penting karena tujuan utama AI dalam pendidikan kimia bukan produksi teks, tetapi peningkatan kualitas pembelajaran.

Dalam jangka panjang, prompt engineering dapat menjadi bagian dari kompetensi profesional guru kimia. Guru masa depan perlu mampu menulis instruksi AI yang efektif, mengevaluasi hasilnya, dan menjelaskan prosesnya kepada peserta didik. Prompt menjadi semacam "bahasa kerja" antara pendidik dan sistem AI. Semakin jelas guru memahami tujuan pembelajaran, semakin baik prompt yang dibuat. Semakin kuat guru memahami kimia, semakin baik validasi keluaran. Semakin matang guru memahami etika, semakin aman penggunaan AI.

Dengan demikian, prompt engineering dalam konteks pembelajaran kimia adalah proses merancang instruksi AI secara pedagogis, konseptual, etis, dan reflektif agar AI dapat membantu pengembangan penjelasan konsep, bahan ajar, LKPD, asesmen, visualisasi, praktikum, umpan balik, diferensiasi, dan refleksi pembelajaran. Prompt engineering bukan trik teknis untuk

memperoleh jawaban cepat, melainkan kompetensi profesional yang menggabungkan literasi AI, pedagogi kimia, validasi ilmiah, dan tanggung jawab etis. Dalam pembelajaran kimia, prompt yang baik harus selalu berpijak pada tujuan pembelajaran, karakteristik peserta didik, akurasi konsep kimia, format keluaran yang jelas, batasan keselamatan, dan evaluasi kritis terhadap hasil AI.

Subbab berikutnya akan membahas **prinsip prompt yang efektif: jelas, kontekstual, bertahap, dan berbasis tujuan**. Pembahasan tersebut penting karena setelah memahami pengertian prompt engineering, guru dan calon guru kimia perlu memiliki prinsip praktis untuk menyusun prompt yang mampu menghasilkan keluaran AI yang lebih relevan, valid, dan berguna bagi pembelajaran kimia.

3.2 Prinsip Prompt yang Efektif: Jelas, Kontekstual, Bertahap, dan Berbasis Tujuan

Prompt yang efektif merupakan fondasi utama dalam penggunaan kecerdasan buatan generatif untuk pembelajaran kimia. Kualitas keluaran AI sangat bergantung pada kualitas instruksi yang diberikan. Jika prompt disusun secara kabur, terlalu umum, tidak memiliki konteks, atau tidak menyebutkan tujuan pembelajaran, maka keluaran AI cenderung bersifat umum, dangkal, tidak sesuai jenjang peserta didik, bahkan berpotensi keliru secara konseptual. Sebaliknya, prompt yang jelas, kontekstual, bertahap, dan berbasis tujuan dapat membantu AI menghasilkan bahan ajar, LKPD, soal, rubrik, media, simulasi, umpan balik, dan aktivitas kelas yang lebih relevan dengan kebutuhan pembelajaran kimia.

Dalam deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia*, prompt engineering disebut sebagai kemampuan penting yang perlu dikuasai mahasiswa. Mahasiswa diarahkan untuk mempelajari cara menyusun prompt yang jelas, kontekstual, bertahap, dan berbasis tujuan pembelajaran. Prompt digunakan untuk menghasilkan bahan ajar, soal, eksperimen, simulasi, ringkasan konsep, analogi, skenario diskusi, serta umpan balik pembelajaran. Dengan demikian, prinsip prompt yang efektif dalam pembelajaran kimia harus selalu berangkat dari kebutuhan pedagogis, bukan sekadar keinginan memperoleh jawaban cepat dari AI.

Prinsip pertama adalah **kejelasan**. Prompt yang jelas menyatakan secara eksplisit apa yang diinginkan pengguna. Kejelasan mencakup topik, tugas, sasaran, batasan, dan bentuk keluaran. Dalam pembelajaran kimia, kejelasan sangat penting karena satu topik dapat memiliki banyak kemungkinan pembahasan. Misalnya, topik “asam-basa” dapat mencakup teori Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis, pH, pOH, titrasi, indikator, larutan penyangga, hidrolisis garam, kekuatan asam, atau aplikasi lingkungan. Jika guru hanya menulis prompt “jelaskan asam-basa”, AI dapat menghasilkan penjelasan umum yang belum tentu sesuai kebutuhan kelas.

Prompt yang lebih jelas perlu menyebutkan fokusnya. Misalnya: “Jelaskan perbedaan asam kuat dan asam lemah untuk siswa SMA kelas XI dengan menekankan derajat ionisasi, contoh senyawa, perbedaan dengan konsentrasi, serta miskonsepsi umum bahwa asam kuat sama dengan asam pekat.” Prompt ini lebih baik karena memberi arah konsep yang spesifik. AI tidak dibiarkan menebak kebutuhan pengguna. Dalam kimia, kejelasan semacam ini membantu mencegah penjelasan yang terlalu luas, tidak fokus, atau berpotensi menimbulkan miskonsepsi.

Kejelasan juga diperlukan ketika guru meminta AI membuat produk pembelajaran. Prompt "buatkan LKPD elektrolit" masih terlalu umum. Prompt yang lebih jelas dapat berbunyi: "Buatkan LKPD berbasis inkuiri untuk siswa SMA kelas X tentang uji daya hantar larutan elektrolit dan nonelektrolit. Sertakan tujuan, pertanyaan pemantik, prediksi, alat-bahan aman, prosedur, tabel pengamatan, pertanyaan analisis makroskopik-submikroskopik-simbolik, kemungkinan miskonsepsi, dan rubrik penilaian sederhana." Prompt kedua menghasilkan keluaran yang lebih siap digunakan karena struktur dan komponennya ditentukan sejak awal.

Kejelasan prompt juga berkaitan dengan **format keluaran**. Guru perlu menyebut apakah keluaran diharapkan berbentuk uraian, tabel, daftar langkah, rubrik, skenario kelas, dialog, peta konsep, soal pilihan ganda, soal uraian, atau LKPD. Tanpa format, AI dapat menghasilkan jawaban yang tidak sesuai kebutuhan. Misalnya, jika guru membutuhkan rubrik, prompt perlu menyebutkan aspek penilaian, skala skor, deskriptor, dan kriteria kualitas. Jika guru membutuhkan soal HOTS, prompt perlu menyebutkan indikator, konteks, level kognitif, kunci jawaban, dan alasan. Format yang jelas membuat keluaran AI lebih mudah diperiksa dan direvisi.

Prinsip kedua adalah **kontekstual**. Prompt yang efektif harus menyertakan konteks pembelajaran. Konteks mencakup jenjang peserta didik, kurikulum, kemampuan awal, topik, tujuan, karakteristik kelas, fasilitas, bahasa, serta batasan waktu. Dalam pembelajaran kimia, konteks sangat menentukan karena materi yang sama dapat diajarkan secara berbeda pada jenjang yang berbeda. Penjelasan tentang ikatan kimia untuk siswa kelas X berbeda dari penjelasan untuk mahasiswa kimia dasar. Penjelasan tentang orbital untuk mahasiswa pendidikan kimia berbeda dari penjelasan populer untuk siswa SMA. Tanpa konteks, AI dapat memberikan respons yang tidak sesuai.

Konteks jenjang sangat penting. Prompt untuk siswa SMA harus menggunakan bahasa, contoh, dan kedalaman konsep yang sesuai. Misalnya, ketika menjelaskan orbital, untuk siswa SMA guru dapat meminta AI menjelaskan orbital sebagai daerah kemungkinan ditemukannya elektron dengan ilustrasi sederhana. Untuk mahasiswa, guru dapat meminta penjelasan yang mengaitkan orbital dengan fungsi gelombang, bilangan kuantum, dan probabilitas. Perbedaan konteks ini mencegah AI memberi penjelasan yang terlalu sederhana bagi mahasiswa atau terlalu kompleks bagi siswa sekolah.

Konteks kemampuan awal juga penting. Siswa yang belum memahami konsep mol tidak siap menerima perhitungan pereaksi pembatas yang kompleks. Mahasiswa yang belum memahami redoks akan kesulitan mempelajari elektrokimia. Karena itu, prompt yang baik dapat menyebutkan prasyarat. Misalnya: "Buatkan penjelasan stoikiometri untuk siswa yang sudah memahami massa molar tetapi masih kesulitan menggunakan perbandingan koefisien reaksi." Prompt seperti ini membantu AI menyesuaikan bantuan dengan titik kesulitan peserta didik.

Konteks fasilitas juga perlu disebutkan, terutama dalam praktikum. Prompt praktikum untuk sekolah dengan laboratorium lengkap berbeda dari sekolah dengan alat terbatas. Jika guru tidak menyebut konteks fasilitas, AI dapat menyarankan alat atau bahan yang tidak tersedia. Prompt yang lebih baik dapat berbunyi: "Rancang praktikum sederhana tentang faktor yang memengaruhi laju reaksi untuk sekolah dengan alat terbatas, menggunakan bahan aman dan mudah diperoleh, durasi 60 menit, serta sertakan catatan keselamatan dan alternatif jika bahan tidak tersedia." Dengan konteks seperti ini, keluaran AI lebih realistis.

Konteks lokal juga penting dalam pembelajaran kimia. Guru dapat meminta contoh yang dekat dengan kehidupan peserta didik, seperti air sumur, pupuk, makanan, baterai, korosi, deterjen, plastik, atau limbah rumah tangga. Konteks lokal membantu meaningful learning karena siswa dapat menghubungkan konsep kimia dengan pengalaman sehari-hari. Namun, guru harus memverifikasi klaim faktual yang dihasilkan AI, terutama jika menyangkut data lingkungan, kesehatan, atau keamanan bahan.

Prinsip ketiga adalah **bertahap**. Prompt yang efektif tidak selalu meminta AI menghasilkan produk akhir sekaligus. Dalam banyak kasus, terutama untuk tugas kompleks seperti modul ajar, LKPD, asesmen diagnostik, atau rancangan praktikum, proses bertahap lebih baik. Pendekatan bertahap memungkinkan guru memeriksa, merevisi, dan memvalidasi keluaran pada setiap langkah. Ini penting karena AI dapat menghasilkan keluaran yang tampak lengkap tetapi mengandung kesalahan tersembunyi.

Dalam pembelajaran kimia, pendekatan bertahap dapat dilakukan dengan memecah tugas besar menjadi beberapa bagian. Misalnya, untuk membuat LKPD tentang kesetimbangan kimia, guru tidak langsung meminta "buatkan LKPD lengkap". Guru dapat memulai dengan meminta AI mengidentifikasi konsep inti dan miskonsepsi umum. Setelah itu, guru meminta pertanyaan diagnostik. Kemudian meminta skenario fenomena. Selanjutnya meminta aktivitas representasi makro-submikro-simbolik. Setelah itu meminta tabel data atau simulasi. Terakhir meminta rubrik penilaian. Dengan cara ini, guru dapat mengontrol kualitas setiap bagian.

Pendekatan bertahap juga penting dalam penyusunan soal. Jika guru meminta AI membuat 20 soal sekaligus, kemungkinan kesalahan meningkat dan pemeriksaan menjadi sulit. Guru dapat memulai dengan meminta indikator soal, lalu meminta beberapa soal untuk satu indikator, kemudian meminta kunci jawaban dan alasan, lalu meminta analisis kemungkinan miskonsepsi, dan terakhir meminta revisi distraktor. Proses ini lebih sesuai dengan prinsip asesmen yang valid. Dalam kimia, soal yang baik tidak hanya benar jawabannya, tetapi juga mengukur konsep yang tepat dan menghindari ambiguitas.

Prompt bertahap juga dapat diterapkan dalam pembelajaran siswa. Siswa dapat diarahkan agar tidak meminta jawaban akhir, tetapi meminta petunjuk langkah demi langkah. Misalnya, dalam soal stoikiometri, prompt siswa dapat berbunyi: "Jangan langsung beri jawaban akhir. Bantu saya memahami langkah pertama untuk menyelesaikan soal ini. Tanyakan satu pertanyaan pemandu terlebih dahulu." Prompt semacam ini membuat AI berfungsi sebagai tutor yang memberi scaffolding, bukan mesin jawaban. Dengan demikian, prompt bertahap membantu menjaga proses berpikir siswa.

Dalam konteks praktikum, prompt bertahap dapat mencegah risiko keselamatan. Guru dapat meminta AI terlebih dahulu mengusulkan ide praktikum, lalu meminta daftar risiko, kemudian meminta alternatif bahan yang lebih aman, lalu meminta prosedur, kemudian meminta tabel data, dan terakhir meminta pertanyaan analisis. Setiap tahap dapat diverifikasi. Jika langsung meminta prosedur lengkap, risiko adanya bahan atau langkah tidak aman lebih sulit terdeteksi. Dalam kimia, pendekatan bertahap bukan hanya strategi kualitas, tetapi juga strategi keselamatan.

Prinsip keempat adalah **berbasis tujuan pembelajaran**. Prompt yang efektif harus selalu dikaitkan dengan tujuan belajar. Tujuan pembelajaran menentukan isi, kedalaman, aktivitas, media, asesmen, dan umpan balik. Tanpa tujuan, AI mungkin menghasilkan materi yang informatif tetapi tidak pedagogis. Misalnya, penjelasan panjang tentang elektrokimia belum tentu membantu jika tujuan pembelajaran hanya "siswa mampu membedakan anode dan katode pada sel volta". Sebaliknya, jika tujuan pembelajaran adalah "siswa mampu menganalisis hubungan reaksi redoks dan potensial sel", prompt harus mengarah ke analisis yang lebih dalam.

Tujuan pembelajaran dapat dirumuskan dalam bentuk kemampuan yang dapat diamati. Misalnya: "siswa mampu menjelaskan", "membedakan", "menganalisis", "menghitung", "menafsirkan data", "membuat model", "menyusun argumen", atau "merefleksikan penggunaan AI". Jika guru memasukkan tujuan ini ke dalam prompt, keluaran AI menjadi lebih terarah. Contoh: "Buatkan aktivitas pembelajaran agar siswa mampu menafsirkan data percobaan laju reaksi dan menghubungkannya dengan teori tumbukan." Prompt ini lebih baik daripada "buatkan aktivitas laju reaksi" karena tujuan penalarannya jelas.

Tujuan pembelajaran juga membantu membedakan jenis output. Jika tujuan adalah pemahaman konsep, keluaran dapat berupa penjelasan, analogi, dan pertanyaan konseptual. Jika tujuan adalah keterampilan praktikum, keluaran perlu berupa prosedur, variabel, tabel data, dan K3. Jika tujuan adalah asesmen, keluaran perlu berupa soal, kunci, rubrik, dan indikator. Jika tujuan adalah refleksi etis, keluaran perlu berupa studi kasus dan pertanyaan reflektif. Dengan kata lain, tujuan menentukan bentuk prompt.

Dalam pendidikan kimia, tujuan pembelajaran harus memperhatikan tiga level representasi. Prompt yang baik sering perlu menyebutkan level representasi yang ingin ditekankan. Misalnya: "Buatkan penjelasan tentang reaksi netralisasi yang menghubungkan level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik." Prompt seperti ini menghindari keluaran yang hanya berupa definisi. Jika tujuan pembelajaran adalah memahami representasi partikel, maka prompt perlu meminta gambar, deskripsi partikel, atau pertanyaan interpretasi visual. Jika tujuan adalah kemampuan simbolik, prompt perlu meminta persamaan reaksi dan penjelasan makna koefisien.

Tujuan pembelajaran juga berkaitan dengan jenjang kognitif. Guru dapat meminta AI membuat aktivitas LOTS, MOTS, atau HOTS. Namun, istilah HOTS sering disalahgunakan. Soal yang panjang belum tentu HOTS. Soal kontekstual belum tentu menuntut analisis. Prompt yang baik harus menjelaskan proses berpikir yang diinginkan. Misalnya: "Buatkan soal yang menuntut siswa menganalisis data pH beberapa larutan untuk membedakan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer. Sertakan alasan setiap jawaban." Prompt ini lebih kuat daripada hanya meminta "buatkan soal HOTS asam-basa".

Prinsip kelima adalah **spesifik terhadap konsep kimia**. Prompt untuk pembelajaran kimia harus menyebut konsep, batas, dan hubungan konsep secara eksplisit. Kimia memiliki banyak istilah yang mirip tetapi berbeda. Misalnya, asam kuat berbeda dari asam pekat; ikatan kimia berbeda dari gaya antarmolekul; elektrolit kuat berbeda dari larutan berkonsentrasi tinggi; spontanitas berbeda dari laju reaksi; titik akhir titrasi berbeda dari titik ekuivalen. Prompt yang baik dapat meminta AI menekankan perbedaan ini agar keluaran tidak mencampuradukkan konsep.

Spesifikasi konsep juga penting untuk menghindari generalisasi berlebihan. Misalnya, prompt "jelaskan reaksi redoks" dapat menghasilkan penjelasan luas. Prompt yang lebih baik dapat berbunyi: "Jelaskan reaksi redoks untuk siswa SMA dengan fokus pada perubahan bilangan oksidasi, pelepasan dan penerimaan elektron, contoh reaksi logam Zn dengan $CuSO_4$, serta hubungan makroskopik-submikroskopik-simbolik." Prompt ini mengarahkan AI pada konsep spesifik, contoh spesifik, dan representasi yang diharapkan.

Prinsip keenam adalah **memuat batasan keselamatan dan etika**. Dalam pembelajaran kimia, prompt yang berkaitan dengan praktikum, bahan kimia, reaksi, atau laboratorium harus selalu menyertakan aspek keselamatan. AI tidak boleh dibiarkan memberi prosedur tanpa mempertimbangkan K3. Prompt perlu menyebut: gunakan bahan aman, hindari bahan berbahaya, sertakan alat pelindung diri, jelaskan pembuangan limbah, sesuaikan dengan jenjang siswa, dan nyatakan bahwa prosedur harus diverifikasi guru atau laboran. Keselamatan harus ditulis eksplisit karena AI tidak selalu mengutamakannya jika tidak diminta.

Etika juga harus muncul dalam prompt yang berkaitan dengan tugas siswa, laporan praktikum, dan penggunaan AI. Misalnya, jika guru meminta AI membuat panduan penggunaan AI untuk siswa, prompt perlu menyebutkan integritas akademik, larangan menyalin jawaban, kewajiban mencantumkan bantuan AI, dan verifikasi informasi. File deskripsi mata kuliah menekankan pentingnya etika akademik, validasi konten, keamanan data, hak cipta, bias algoritmik, serta tanggung jawab pendidik dalam menggunakan AI. Karena itu, prinsip etis harus menjadi bagian dari prompt engineering dalam pembelajaran kimia.

Prinsip ketujuh adalah **meminta potensi miskonsepsi**. Salah satu keunggulan prompt yang baik adalah mampu mengantisipasi kesalahan belajar. Guru dapat meminta AI menyertakan miskonsepsi umum pada suatu topik dan cara mengatasinya. Misalnya: "Sertakan tiga miskonsepsi umum siswa tentang kesetimbangan kimia dan strategi pertanyaan untuk memperbaikinya." Dengan demikian, keluaran AI tidak hanya menyajikan materi benar, tetapi juga membantu guru mengantisipasi pemahaman salah. Namun, daftar miskonsepsi dari AI tetap harus diverifikasi dengan literatur dan pengalaman guru.

Prinsip kedelapan adalah **meminta validasi internal dan catatan verifikasi**. Guru dapat meminta AI menambahkan bagian "hal yang perlu dicek guru" atau "catatan validasi". Misalnya, pada soal stoikiometri, AI dapat diminta menyertakan pemeriksaan kesetaraan reaksi dan satuan. Pada praktikum, AI dapat diminta menyertakan catatan bahan yang perlu dicek SDS-nya. Pada bahan ajar, AI dapat diminta menandai bagian yang perlu rujukan akademik. Prompt seperti ini membantu membangun budaya kritis terhadap AI.

Prinsip kesembilan adalah **menggunakan iterasi**. Prompt engineering bukan kegiatan sekali jadi. Guru perlu membaca keluaran AI, menemukan kekurangan, lalu memperbaiki prompt. Misalnya, jika AI menghasilkan soal yang terlalu mudah, guru dapat meminta "revisi soal agar menuntut analisis data, bukan hafalan definisi." Jika AI membuat LKPD tanpa pertanyaan reflektif, guru dapat meminta "tambahkan pertanyaan yang menghubungkan level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik." Jika AI memberi penjelasan terlalu tinggi, guru dapat meminta "sederhanakan untuk siswa kelas X tanpa menghilangkan akurasi konsep." Iterasi adalah inti prompt engineering.

Iterasi juga melatih guru berpikir kritis. Setiap revisi prompt menunjukkan bahwa guru menilai kualitas keluaran. Dengan demikian, AI tidak mengendalikan guru; guru mengendalikan AI. Dalam pendidikan calon guru, mahasiswa perlu diminta menyimpan jejak prompt awal, keluaran awal, revisi prompt, keluaran revisi, dan alasan revisi. Dokumentasi ini menunjukkan proses berpikir pedagogis dan validasi. Produk akhir yang baik bukan hanya hasil AI, tetapi hasil dialog kritis antara mahasiswa dan AI.

Prinsip kesepuluh adalah **menjaga bahasa yang sesuai dan akurat**. Dalam pembelajaran kimia berbahasa Indonesia, prompt perlu meminta penggunaan istilah kimia yang baku. AI kadang mencampur istilah atau menerjemahkan secara kurang tepat. Guru dapat menulis: "Gunakan bahasa Indonesia baku, istilah kimia yang lazim dalam buku SMA, dan jelaskan istilah teknis dengan sederhana." Untuk mahasiswa, guru dapat meminta bahasa akademik yang lebih formal. Kesesuaian bahasa membantu peserta didik memahami konsep tanpa kehilangan akurasi.

Prinsip kesebelas adalah **menghindari klaim yang tidak dapat diverifikasi**. Jika AI diminta membuat materi berbasis literatur, prompt perlu melarang referensi palsu. Misalnya: "Gunakan rujukan yang dapat diverifikasi; jangan membuat DOI atau nama jurnal palsu; jika tidak yakin, beri catatan perlu verifikasi." Dalam penulisan akademik, hal ini sangat penting karena AI dapat menghasilkan referensi yang terdengar benar tetapi tidak ada. Guru dan mahasiswa harus selalu memeriksa sumber melalui database atau laman jurnal resmi.

Prinsip kedua belas adalah **mempertahankan peran guru sebagai pengambil keputusan**. Prompt yang baik dapat meminta AI menghasilkan alternatif, bukan keputusan final. Misalnya: "Berikan tiga alternatif aktivitas pembelajaran tentang laju reaksi, masing-masing dengan kelebihan, keterbatasan, dan kondisi kelas yang sesuai." Dengan cara ini, guru tetap memilih berdasarkan konteks. AI berperan sebagai penyedia opsi, bukan penentu keputusan. Prinsip ini selaras dengan posisi AI sebagai alat bantu pedagogis, bukan pengganti guru.

Untuk memperjelas prinsip-prinsip tersebut, berikut perbandingan konseptual antara prompt kurang efektif dan prompt efektif. Prompt kurang efektif biasanya singkat, umum, tidak menyebut jenjang, tidak menyebut tujuan, tidak menyebut format, tidak memberi batasan, dan tidak meminta validasi. Misalnya: "Buatkan soal kimia tentang asam-basa." Prompt efektif lebih lengkap: "Buatkan lima soal diagnostik miskonsepsi tentang perbedaan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer untuk siswa SMA kelas XI. Setiap soal berbentuk pilihan ganda beralasan, sertakan kunci, alasan jawaban benar, miskonsepsi yang diungkap oleh tiap distraktor, dan umpan balik singkat." Prompt kedua lebih sesuai dengan kebutuhan pembelajaran kimia.

Contoh lain pada praktikum. Prompt kurang efektif: "Buatkan praktikum laju reaksi." Prompt efektif: "Rancang praktikum sederhana dan aman untuk siswa SMA tentang pengaruh konsentrasi terhadap laju reaksi menggunakan bahan yang mudah diperoleh. Sertakan tujuan, konsep dasar, variabel bebas-terikat-kontrol, alat-bahan, prosedur, K3, tabel data, pertanyaan analisis berbasis teori tumbukan, sumber kesalahan, dan catatan bahwa guru harus memverifikasi keselamatan sebelum praktik." Prompt kedua lebih bertanggung jawab karena mencakup pedagogi, konsep, dan keselamatan.

Contoh pada visualisasi. Prompt kurang efektif: “Buat gambar molekul air.” Prompt efektif: “Buat deskripsi visual pembelajaran untuk menjelaskan bentuk molekul H_2O kepada siswa SMA. Tampilkan atom O sebagai atom pusat, dua atom H, dua pasangan elektron bebas pada O, bentuk bengkok, sudut ikatan mendekati 104,5°, arah dipol, dan catatan bahwa warna serta ukuran atom hanya model, bukan ukuran sebenarnya.” Prompt kedua membantu AI menghasilkan representasi yang lebih sesuai dengan konsep dan mengantisipasi miskonsepsi.

Dalam praktik kelas, guru dapat mengajarkan prinsip prompt kepada siswa dengan format sederhana: **tujuan–konteks–tugas–batasan–format–cek ulang**. Tujuan menjelaskan apa yang ingin dipelajari. Konteks menjelaskan jenjang atau kondisi. Tugas menjelaskan apa yang diminta. Batasan menjelaskan hal yang harus diperhatikan. Format menjelaskan bentuk jawaban. Cek ulang meminta AI atau siswa memverifikasi hasil. Format ini dapat membantu siswa menggunakan AI secara lebih bertanggung jawab.

Misalnya, siswa yang ingin belajar stoikiometri dapat menulis: “Saya siswa SMA kelas X. Saya ingin memahami langkah menyelesaikan soal stoikiometri. Jangan langsung berikan jawaban akhir. Bimbing saya langkah demi langkah, mulai dari menyetarakan reaksi, mengubah massa ke mol, menggunakan perbandingan koefisien, lalu menghitung hasil. Setelah setiap langkah, beri satu pertanyaan untuk saya jawab.” Prompt ini membantu siswa belajar aktif. AI tidak dipakai untuk menyalin jawaban, tetapi untuk membimbing proses berpikir.

Guru juga dapat menggunakan prompt untuk membangun budaya verifikasi. Misalnya, setelah AI memberi penjelasan, siswa diminta menulis prompt lanjutan: “Apa bagian dari penjelasan ini yang perlu saya verifikasi dengan buku teks atau guru?” atau “Sebutkan kemungkinan miskonsepsi dari penjelasan ini.” Dengan demikian, siswa belajar bahwa AI bukan otoritas final. Mereka belajar bersikap kritis terhadap teknologi.

Dalam pembelajaran calon guru, prinsip prompt efektif dapat dijadikan rubrik. Mahasiswa dapat dinilai berdasarkan apakah prompt mereka jelas, kontekstual, bertahap, berbasis tujuan, spesifik kimia, memperhatikan representasi, memuat keselamatan, mengantisipasi miskonsepsi, meminta format output, dan menyertakan validasi. Rubrik ini membantu mahasiswa memahami bahwa prompt bukan sekadar instruksi teknis, tetapi rancangan pedagogis mini.

Prinsip prompt efektif juga dapat mendukung pengembangan prompt library mata kuliah. Setiap prompt yang digunakan mahasiswa dapat dikumpulkan, diuji, direvisi, dan dikategorikan. Misalnya, kategori prompt bahan ajar, prompt LKPD, prompt asesmen, prompt visualisasi, prompt praktikum, prompt miskonsepsi, prompt refleksi, dan prompt etika. Namun, setiap prompt library perlu disertai catatan penggunaan dan batasan. Prompt bukan resep universal; ia harus disesuaikan dengan kelas.

Dalam konteks penelitian pendidikan kimia, prinsip prompt efektif dapat menjadi objek kajian. Peneliti dapat membandingkan kualitas bahan ajar yang dihasilkan dari prompt umum dan prompt terstruktur. Peneliti dapat menilai apakah prompt yang menyertakan level representasi menghasilkan bahan yang lebih baik. Peneliti juga dapat mengkaji bagaimana kemampuan prompt mahasiswa calon guru berkembang setelah pelatihan. Kajian semacam ini penting karena prompt engineering dalam pendidikan kimia masih berkembang dan membutuhkan bukti empiris.

Pada akhirnya, prompt yang efektif dalam pembelajaran kimia harus memenuhi empat fondasi utama: **jelas**, **kontekstual**, **bertahap**, dan **berbasis tujuan**. Kejelasan membuat AI memahami tugas. Konteks membuat keluaran sesuai peserta didik dan kondisi kelas. Tahapan membuat proses dapat dikontrol dan divalidasi. Tujuan pembelajaran memastikan AI bekerja untuk pedagogi, bukan sekadar menghasilkan teks. Di atas empat fondasi tersebut, guru perlu menambahkan akurasi kimia, keselamatan, etika, validasi, representasi, dan refleksi.

Dengan demikian, prinsip prompt yang efektif merupakan inti penggunaan AI secara bertanggung jawab dalam pembelajaran kimia. Prompt yang baik dapat membantu guru dan calon guru menghasilkan bahan ajar, LKPD, soal, rubrik, visualisasi, praktikum, simulasi, umpan balik, dan aktivitas pembelajaran yang lebih relevan. Namun, prompt sebaik apa pun tidak menghapus kebutuhan validasi manusia. Guru kimia tetap harus memeriksa konsep, simbol, data, keselamatan, dan kelayakan pedagogis. Prompt engineering yang matang bukan hanya membuat AI menjawab lebih baik, tetapi membantu pendidik berpikir lebih sistematis tentang tujuan, proses, dan kualitas pembelajaran kimia.

Subbab berikutnya akan membahas **struktur prompt: peran, tugas, konteks, batasan, dan format output**. Pembahasan tersebut penting karena setelah memahami prinsip umum prompt yang efektif, guru dan calon guru kimia perlu memiliki kerangka operasional untuk menyusun prompt secara lebih rapi, dapat diulang, dan mudah dievaluasi dalam berbagai kebutuhan pembelajaran kimia.

3.3 Struktur Prompt: Peran, Tugas, Konteks, Batasan, dan Format Output

Struktur prompt merupakan kerangka yang membantu pengguna menyusun instruksi kepada AI secara lebih terarah, konsisten, dan dapat dievaluasi. Dalam pembelajaran kimia, struktur prompt sangat penting karena keluaran AI harus memenuhi dua tuntutan sekaligus: **benar secara kimia** dan **bermanfaat secara pedagogis**. Prompt yang hanya berisi perintah singkat sering menghasilkan jawaban umum, tidak sesuai jenjang peserta didik, tidak mengantisipasi miskonsepsi, tidak memperhatikan keselamatan, dan tidak menyediakan format yang siap digunakan dalam pembelajaran. Sebaliknya, prompt yang memiliki struktur jelas dapat membantu AI menghasilkan keluaran yang lebih relevan, sistematis, dan mudah divalidasi.

Dalam deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia*, prompt engineering ditempatkan sebagai salah satu kemampuan utama yang harus dikembangkan mahasiswa. Mahasiswa tidak hanya diminta menggunakan AI, tetapi juga mempelajari cara menyusun prompt yang jelas, kontekstual, bertahap, dan berbasis tujuan pembelajaran. Prompt digunakan untuk menghasilkan bahan ajar, soal, eksperimen, simulasi, ringkasan konsep, analogi, skenario diskusi, serta umpan balik pembelajaran. Oleh karena itu, struktur prompt dalam pembelajaran kimia perlu memuat unsur yang mampu mengarahkan AI pada kebutuhan pedagogis tersebut.

Struktur prompt yang praktis untuk pembelajaran kimia dapat disusun melalui lima komponen utama: **peran**, **tugas**, **konteks**, **batasan**, dan **format output**. Kelima komponen ini tidak selalu harus muncul secara kaku dalam setiap prompt, tetapi semakin kompleks tugas yang diminta, semakin penting kelima unsur tersebut dimasukkan. Untuk tugas sederhana, prompt singkat

mungkin cukup. Namun, untuk membuat LKPD, modul ajar, asesmen diagnostik, rubrik, praktikum, atau media visual kimia, prompt perlu lebih lengkap.

Komponen pertama adalah **peran**. Peran menjelaskan sudut pandang atau identitas keahlian yang harus diambil AI ketika menjawab. Dalam prompt, peran sering dimulai dengan frasa seperti "Bertindaklah sebagai…", "Berperanlah sebagai…", atau "Posisikan diri sebagai…". Dalam pembelajaran kimia, peran dapat dibuat spesifik, misalnya sebagai guru kimia SMA, dosen pendidikan kimia, ahli pedagogi kimia, perancang LKPD, ahli asesmen, laboran kimia, pengembang media pembelajaran, atau reviewer bahan ajar kimia. Peran membantu AI menyesuaikan gaya, kedalaman, fokus, dan tanggung jawab keluaran.

Contoh peran yang terlalu umum adalah: "Bertindaklah sebagai guru." Peran ini masih kurang spesifik karena guru bidang apa, jenjang apa, dan tujuan apa belum jelas. Peran yang lebih baik adalah: "Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas XI yang berpengalaman dalam pembelajaran berbasis inkuiri." Peran yang lebih kuat lagi dapat berbunyi: "Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas XI sekaligus perancang LKPD berbasis inkuiri yang memperhatikan tiga level representasi kimia dan miskonsepsi siswa." Peran yang spesifik membantu AI menghasilkan keluaran yang lebih sesuai dengan karakter pembelajaran kimia.

Dalam konteks calon guru kimia, penggunaan peran juga dapat melatih kesadaran profesional. Ketika mahasiswa meminta AI bertindak sebagai "reviewer bahan ajar kimia", mereka belajar bahwa produk pembelajaran perlu ditinjau dari segi akurasi konsep, koherensi pedagogis, bahasa, representasi, dan potensi miskonsepsi. Ketika meminta AI bertindak sebagai "ahli keselamatan laboratorium sekolah", mahasiswa belajar bahwa rancangan praktikum tidak boleh hanya menarik, tetapi harus aman. Dengan demikian, komponen peran bukan sekadar trik bahasa, tetapi cara mengarahkan perspektif pedagogis.

Komponen kedua adalah **tugas**. Tugas menjelaskan apa yang harus dilakukan AI. Tugas harus ditulis dengan kata kerja yang jelas, seperti jelaskan, buatkan, susun, analisis, bandingkan, evaluasi, revisi, kembangkan, rangkum, ubah, klasifikasikan, atau beri umpan balik. Dalam prompt pembelajaran kimia, tugas harus cukup spesifik agar AI tidak menghasilkan keluaran yang terlalu luas. Misalnya, "buatkan materi kesetimbangan kimia" masih kurang jelas. Tugas yang lebih jelas adalah "buatkan penjelasan bertahap tentang kesetimbangan dinamis yang menghubungkan level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik."

Tugas juga perlu dibedakan berdasarkan jenis produk. Jika guru ingin penjelasan konsep, tugasnya berbeda dari pembuatan soal. Jika guru ingin LKPD, tugasnya berbeda dari rubrik. Jika guru ingin praktikum, tugasnya berbeda dari simulasi. Misalnya, untuk topik yang sama, prompt dapat memiliki tugas berbeda: "jelaskan konsep larutan penyangga", "buatkan soal diagnostik larutan penyangga", "susun LKPD praktikum larutan penyangga", "buat rubrik penilaian proyek larutan penyangga", atau "analisis miskonsepsi siswa tentang larutan penyangga". Kejelasan tugas menentukan relevansi keluaran.

Tugas yang baik juga sebaiknya menyertakan tujuan kerja. Misalnya, bukan hanya "buat soal", tetapi "buat soal untuk mengidentifikasi miskonsepsi". Bukan hanya "buat LKPD", tetapi "buat LKPD untuk membantu siswa menghubungkan data eksperimen dengan konsep partikel". Bukan

hanya “buat media”, tetapi “buat media untuk menjelaskan hubungan bentuk molekul dan polaritas”. Dengan menyebut fungsi pedagogis tugas, AI diarahkan untuk menghasilkan produk yang lebih bermakna.

Komponen ketiga adalah **konteks**. Konteks menjelaskan situasi pembelajaran yang melatarbelakangi tugas. Dalam pendidikan kimia, konteks dapat meliputi jenjang siswa, kelas, topik, kurikulum, tujuan pembelajaran, kemampuan awal, durasi, fasilitas, bahasa, karakter peserta didik, dan bentuk pembelajaran. Konteks sangat penting karena kimia memiliki tingkat abstraksi yang berbeda pada setiap jenjang. Penjelasan untuk siswa kelas X tidak sama dengan penjelasan untuk mahasiswa kimia fisik. Praktikum untuk sekolah dengan laboratorium sederhana tidak sama dengan praktikum untuk perguruan tinggi.

Contoh prompt tanpa konteks: “Buatkan praktikum elektrolit.” Prompt ini berisiko menghasilkan prosedur yang tidak sesuai jenjang, tidak sesuai fasilitas, atau tidak aman. Prompt dengan konteks: “Buatkan praktikum sederhana untuk siswa SMA kelas X tentang daya hantar larutan elektrolit dan nonelektrolit, menggunakan alat sederhana, durasi 60 menit, bahan aman yang mudah diperoleh, dan fokus pada hubungan antara gejala lampu menyala dengan keberadaan ion dalam larutan.” Konteks membuat keluaran lebih realistis dan sesuai kebutuhan kelas.

Konteks kemampuan awal juga penting. Misalnya, jika siswa belum memahami konsep ion, guru perlu menyebutkannya dalam prompt. “Buatkan penjelasan larutan elektrolit untuk siswa yang baru mengenal ion dan belum mempelajari redoks.” Prompt ini akan berbeda dari “Buatkan penjelasan larutan elektrolit untuk mahasiswa kimia dasar yang sudah memahami ionisasi dan disosiasi.” Dengan menyertakan kemampuan awal, AI dapat menyesuaikan kedalaman materi.

Konteks fasilitas perlu diperhatikan terutama dalam praktikum dan media. Banyak sekolah memiliki keterbatasan alat dan bahan. Jika prompt tidak menyebut kondisi ini, AI dapat menyarankan peralatan atau bahan yang sulit diperoleh. Untuk pembelajaran kimia di sekolah, prompt sebaiknya menyebut “alat dan bahan sederhana”, “aman untuk sekolah”, “tanpa bahan berbahaya”, “dapat dilakukan dalam kelompok kecil”, atau “dapat diganti dengan simulasi jika alat tidak tersedia”. Konteks fasilitas membantu menjaga kelayakan implementasi.

Konteks juga dapat berupa pendekatan pembelajaran. Guru dapat menyebut bahwa aktivitas harus berbasis inquiry, problem-based learning, project-based learning, STEM, diferensiasi, meaningful learning, mindful learning, atau joyful learning. File deskripsi mata kuliah menekankan bahwa AI digunakan untuk mendukung meaningful learning, mindful learning, dan joyful learning dalam pembelajaran kimia. Jika pendekatan ini dimasukkan dalam prompt, keluaran AI akan lebih sesuai dengan arah pembelajaran yang diinginkan.

Komponen keempat adalah **batasan**. Batasan menjelaskan hal-hal yang harus diperhatikan, dihindari, atau dipenuhi. Dalam prompt pembelajaran kimia, batasan sangat penting karena keluaran AI dapat keliru, terlalu umum, atau tidak aman. Batasan dapat berupa batasan konsep, jenjang, keselamatan, etika, bahasa, sumber, format, atau tingkat kedalaman. Misalnya: “jangan menggunakan bahan berbahaya”, “hindari analogi yang menyatakan atom memiliki kehendak”, “jangan memberikan jawaban final kepada siswa”, “gunakan bahasa Indonesia sederhana”, atau “pastikan persamaan reaksi setara”.

Batasan konsep membantu mencegah miskonsepsi. Misalnya, dalam prompt tentang kesetimbangan, guru dapat menulis: “Tekankan bahwa pada keadaan setimbang reaksi maju dan balik tetap berlangsung; jangan menyatakan bahwa reaksi berhenti.” Dalam prompt tentang katalis, guru dapat menulis: “Jelaskan bahwa katalis mempercepat tercapainya kesetimbangan tetapi tidak mengubah nilai tetapan kesetimbangan.” Dalam prompt tentang asam-basa, guru dapat menulis: “Bedakan kekuatan asam dari konsentrasi larutan.” Batasan seperti ini sangat berguna karena AI kadang memberi penjelasan yang terlalu sederhana.

Batasan keselamatan merupakan keharusan dalam prompt praktikum. Prompt yang meminta prosedur eksperimen harus selalu memuat batasan K3. Misalnya: “Gunakan bahan yang aman untuk siswa SMA, sertakan alat pelindung diri, hindari gas berbahaya, hindari pemanasan zat mudah terbakar, dan sertakan prosedur pembuangan limbah sederhana.” Batasan keselamatan perlu ditulis eksplisit karena AI tidak selalu secara otomatis memprioritaskan keselamatan. Dalam kimia, keselamatan tidak boleh diasumsikan.

Batasan etika diperlukan ketika prompt berkaitan dengan tugas siswa, penulisan akademik, atau penggunaan data. Misalnya: “Jangan membuat data praktikum palsu”, “jangan menulis jawaban yang dapat langsung disalin siswa”, “berikan panduan berpikir, bukan jawaban akhir”, “jangan mencantumkan referensi yang tidak dapat diverifikasi”, atau “jangan meminta data pribadi siswa.” Batasan etika membantu menjaga integritas akademik dan perlindungan data.

Batasan bahasa juga penting. Untuk siswa sekolah menengah, prompt dapat meminta “gunakan bahasa sederhana, kalimat pendek, dan contoh sehari-hari”. Untuk mahasiswa, prompt dapat meminta “gunakan bahasa akademik, istilah kimia baku, dan kedalaman konseptual”. Dalam pembelajaran kimia di Indonesia, prompt dapat meminta “gunakan istilah kimia bahasa Indonesia yang lazim, dan sertakan istilah Inggris hanya jika diperlukan.” Batasan bahasa membantu mencegah keluaran yang terlalu teknis atau tidak konsisten.

Komponen kelima adalah **format output**. Format output menjelaskan bentuk akhir jawaban yang diharapkan. Format dapat berupa tabel, daftar bernomor, paragraf, rubrik, skenario pembelajaran, LKPD, modul, soal pilihan ganda, soal uraian, dialog, peta konsep, atau kerangka slide. Format output membuat respons AI lebih terstruktur dan mudah digunakan. Dalam pembelajaran kimia, format juga membantu guru memeriksa akurasi lebih cepat. Misalnya, tabel makro-submikro-simbolik lebih mudah divalidasi dibanding uraian panjang tanpa struktur.

Jika guru meminta soal, format output perlu jelas. Misalnya: “Buat dalam tabel dengan kolom nomor, indikator, soal, pilihan jawaban, kunci, alasan, miskonsepsi yang diuji, dan umpan balik.” Jika guru meminta rubrik, format dapat berupa “aspek penilaian, skor 4, skor 3, skor 2, skor 1, dan catatan”. Jika guru meminta LKPD, format dapat mencakup “judul, tujuan, konsep dasar, alat-bahan, prosedur, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, refleksi, dan rubrik”. Format output mengubah prompt dari perintah umum menjadi rancangan kerja yang jelas.

Format output juga membantu membatasi keluaran agar tidak terlalu luas. AI sering menghasilkan jawaban panjang jika tidak diberi format. Dalam pembelajaran, jawaban panjang tidak selalu lebih baik. Guru dapat meminta “maksimal 500 kata”, “buat 5 butir saja”, “gunakan tabel ringkas”, atau “buat dalam 3 tahap”. Batas panjang dapat membantu menjaga fokus. Namun, untuk buku ajar

atau modul, guru dapat meminta uraian lebih panjang. Intinya, format output harus sesuai kebutuhan.

Kelima komponen struktur prompt dapat dirangkai dalam pola sederhana: **Peran** + **Tugas** + **Konteks** + **Batasan** + **Format Output**. Contohnya:

“Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas XI. Buatkan lima soal diagnostik miskonsepsi tentang kesetimbangan kimia. Konteksnya siswa sudah mempelajari laju reaksi dan reaksi bolak-balik, tetapi sering mengira reaksi berhenti pada keadaan setimbang. Hindari soal hafalan definisi; fokus pada pemahaman dinamis. Sajikan dalam tabel dengan kolom indikator, soal, pilihan jawaban, kunci, miskonsepsi yang diuji, dan umpan balik singkat.”

Prompt tersebut memuat peran sebagai guru kimia, tugas membuat soal diagnostik, konteks siswa dan kesulitan, batasan tidak membuat soal hafalan, serta format tabel. Dengan struktur seperti ini, keluaran AI lebih mudah diarahkan dan divalidasi.

Contoh lain untuk LKPD:

“Bertindaklah sebagai perancang LKPD kimia berbasis inkuiri. Susun LKPD untuk siswa SMA kelas X tentang uji daya hantar larutan elektrolit dan nonelektrolit. Konteksnya sekolah memiliki alat uji daya hantar sederhana dan bahan yang aman seperti garam, gula, cuka, air mineral, dan larutan sabun. Jangan menggunakan bahan berbahaya. Tekankan hubungan antara pengamatan lampu, keberadaan ion, dan persamaan ionisasi. Format LKPD harus berisi tujuan, pertanyaan pemantik, prediksi, alat-bahan, prosedur, tabel pengamatan, pertanyaan analisis makro-submikro-simbolik, refleksi, dan rubrik penilaian.”

Prompt ini lebih siap digunakan dalam pembelajaran karena memuat konteks praktikum, keamanan, representasi, dan format. Guru tetap harus memvalidasi, tetapi AI sudah diarahkan untuk menghasilkan keluaran yang lebih dekat dengan kebutuhan nyata.

Contoh untuk visualisasi:

“Bertindaklah sebagai pengembang media visual kimia. Buat deskripsi visual untuk menjelaskan perbedaan larutan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit kepada siswa SMA. Konteksnya siswa sudah mengenal ion tetapi belum memahami derajat ionisasi. Jangan menggambarkan elektron bergerak dalam larutan. Tampilkan partikel dalam larutan secara konseptual: elektrolit kuat banyak ion bebas, elektrolit lemah sebagian ion dan sebagian molekul, nonelektrolit molekul netral. Sertakan catatan bahwa ukuran dan warna partikel hanya model. Sajikan dalam tabel tiga baris.”

Prompt ini menunjukkan bagaimana batasan dapat mencegah miskonsepsi, terutama miskonsepsi bahwa elektron bergerak dalam larutan elektrolit. Format tabel membantu guru memeriksa isi visual.

Contoh untuk umpan balik siswa:

“Bertindaklah sebagai tutor kimia yang memberi scaffolding. Siswa menulis: ‘Pada kesetimbangan, reaksi berhenti karena jumlah reaktan dan produk sudah sama.’ Berikan umpan balik konseptual untuk siswa SMA kelas XI. Jangan hanya menyatakan salah; jelaskan bagian yang keliru, berikan penjelasan tentang kesetimbangan dinamis, dan akhiri dengan satu pertanyaan pemandu. Gunakan bahasa sederhana dan maksimal 150 kata.”

Prompt ini mengarahkan AI untuk memberi umpan balik pedagogis, bukan sekadar koreksi. Batasan “jangan hanya menyatakan salah” membantu menjaga kualitas respons agar mendukung belajar.

Struktur prompt juga dapat digunakan untuk mencegah **overgeneration**, yaitu kecenderungan AI menghasilkan terlalu banyak informasi yang tidak diperlukan. Dalam pembelajaran kimia, informasi yang terlalu banyak dapat meningkatkan beban kognitif. Misalnya, ketika siswa baru belajar bentuk molekul, tidak perlu langsung membahas orbital molekul tingkat lanjut. Prompt perlu membatasi kedalaman: “untuk siswa SMA kelas X”, “hindari pembahasan mekanika kuantum yang terlalu lanjut”, atau “fokus pada teori VSEPR dasar”. Batasan ini menjaga kesesuaian jenjang.

Struktur prompt juga dapat digunakan untuk mendorong **representasi ganda**. Guru dapat memasukkan format yang mewajibkan AI menghubungkan makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Misalnya: “Sajikan penjelasan dalam tiga kolom: pengamatan makroskopik, penjelasan partikel, dan simbol/persamaan kimia.” Struktur semacam ini sangat sesuai dengan karakter pembelajaran kimia. AI tidak dibiarkan hanya memberi definisi, tetapi diarahkan untuk membangun keterhubungan representasional.

Struktur prompt juga membantu dalam **evaluasi hasil AI**. Jika prompt memuat peran, tugas, konteks, batasan, dan format, guru dapat memeriksa apakah keluaran AI memenuhi masing-masing unsur. Apakah AI menjawab sesuai peran? Apakah tugas dipenuhi? Apakah konteks jenjang diperhatikan? Apakah batasan keselamatan dipatuhi? Apakah format sesuai? Apakah konsep kimia benar? Evaluasi menjadi lebih sistematis karena ada kriteria yang jelas.

Dalam pendidikan calon guru, mahasiswa perlu dilatih menyusun prompt dengan struktur tersebut. Dosen dapat memberikan tugas: buat prompt untuk bahan ajar, prompt untuk LKPD, prompt untuk soal diagnostik, prompt untuk rubrik, prompt untuk praktikum, dan prompt untuk umpan balik. Mahasiswa kemudian membandingkan keluaran dari prompt yang tidak terstruktur dengan prompt yang terstruktur. Biasanya, prompt terstruktur menghasilkan keluaran yang lebih relevan, meskipun tetap perlu validasi. Latihan ini membantu mahasiswa memahami nilai pedagogis struktur prompt.

Struktur prompt juga dapat menjadi bagian dari portofolio akhir mata kuliah. Mahasiswa tidak hanya mengumpulkan perangkat pembelajaran, tetapi juga menyertakan prompt yang digunakan untuk membuatnya. Mereka dapat menuliskan prompt awal, hasil AI, revisi prompt, alasan revisi, validasi konsep, dan hasil akhir. Dengan demikian, proses penggunaan AI menjadi transparan. Hal ini sesuai dengan arah mata kuliah yang menekankan produk akhir berupa paket perangkat pembelajaran kimia berbantuan AI beserta refleksi etis-pedagogis.

Dalam praktik akademik, dokumentasi prompt juga penting untuk menjaga integritas. Jika mahasiswa menggunakan AI untuk membantu membuat bahan ajar atau LKPD, mereka perlu menunjukkan bagaimana AI digunakan dan bagaimana mereka merevisi hasilnya. Ini membedakan penggunaan AI sebagai alat bantu belajar dari penggunaan AI untuk mengambil alih tugas. Dokumentasi prompt membantu dosen menilai kemampuan mahasiswa dalam berpikir, memvalidasi, dan mengambil keputusan pedagogis.

Struktur prompt juga berhubungan dengan prinsip **transparansi**. Guru perlu transparan kepada siswa ketika menggunakan AI dalam pembelajaran. Misalnya, jika sebuah pertanyaan reflektif atau skenario diskusi dibuat dengan bantuan AI, guru tetap bertanggung jawab memvalidasinya. Di sisi lain, siswa juga perlu transparan ketika menggunakan AI untuk tugas. Struktur prompt dapat mengajarkan siswa bahwa penggunaan AI yang baik memiliki tujuan, batasan, dan tanggung jawab. Mereka tidak sekadar menulis "jawab soal ini", tetapi belajar membuat prompt yang mendukung proses berpikir.

Struktur prompt juga dapat membantu mengurangi risiko **bias dan ketidaksesuaian konteks**. Dengan menyebutkan konteks lokal, guru dapat meminta AI menyesuaikan contoh dengan kehidupan siswa. Misalnya, untuk topik asam-basa, guru dapat meminta contoh dari makanan, minuman, sabun, obat maag, atau air hujan. Untuk topik korosi, guru dapat meminta contoh dari pagar besi, kendaraan, atau lingkungan pesisir. Konteks lokal membuat pembelajaran lebih bermakna. Namun, guru tetap harus memverifikasi klaim faktual.

Struktur prompt juga dapat membantu menjaga **keamanan data**. Jika guru meminta AI menganalisis respons siswa, prompt harus menghindari data pribadi. Misalnya: "Berikut ringkasan anonim respons siswa…" bukan memasukkan nama siswa dan nilai individual. Prompt juga dapat menyebut: "Jangan meminta atau menyimpan data pribadi." Kebiasaan ini penting dalam pembelajaran berbasis AI karena perlindungan data peserta didik merupakan bagian dari tanggung jawab profesional pendidik.

Dalam konteks asesmen, struktur prompt dapat membantu menghasilkan soal yang lebih berkualitas. Prompt asesmen sebaiknya memuat peran sebagai ahli asesmen kimia, tugas membuat soal, konteks jenjang dan materi, batasan level kognitif, format soal, kunci jawaban, alasan, rubrik, dan miskonsepsi. Misalnya, untuk soal HOTS, prompt harus meminta analisis data atau konteks, bukan sekadar definisi. Guru dapat menulis: "Buat soal yang menuntut siswa menafsirkan data pH dan konduktivitas untuk mengklasifikasikan larutan." Ini lebih baik daripada meminta "soal HOTS elektrolit" tanpa penjelasan.

Dalam konteks praktikum, struktur prompt harus lebih ketat. Peran dapat berupa ahli praktikum kimia sekolah. Tugasnya merancang praktikum. Konteksnya jenjang, durasi, fasilitas, bahan tersedia. Batasannya keselamatan, bahan aman, limbah, dan verifikasi guru. Formatnya tujuan, teori, variabel, alat-bahan, prosedur, K3, tabel data, analisis, dan rubrik. Struktur ini membantu memastikan bahwa AI tidak hanya menghasilkan prosedur menarik, tetapi juga aman dan pedagogis.

Dalam konteks visualisasi, struktur prompt juga perlu eksplisit. Peran dapat berupa pengembang media visual kimia. Tugasnya membuat deskripsi visual atau storyboard. Konteksnya topik dan

jenjang. Batasannya akurasi model, batas representasi, tidak menampilkan kesalahan valensi atau geometri. Formatnya dapat berupa tabel visual, keterangan, label, dan catatan miskonsepsi. Dengan struktur seperti ini, visualisasi AI lebih mudah dikontrol.

Struktur prompt juga penting dalam penggunaan AI untuk **umpan balik otomatis**. Jika guru meminta AI memberi umpan balik jawaban siswa, prompt perlu mengatur gaya respons. AI tidak boleh langsung memberi nilai tanpa alasan. Prompt dapat meminta: identifikasi bagian benar, identifikasi bagian keliru, jelaskan konsep yang benar, berikan pertanyaan pemandu, dan gunakan bahasa yang mendukung. Batasan juga dapat menyebut "jangan mempermalukan siswa" atau "jangan memberi jawaban final jika tujuan aktivitas adalah latihan". Ini membantu AI memberi umpan balik yang lebih pedagogis.

Salah satu kesalahan umum dalam prompt engineering adalah tidak menyebutkan **kriteria kualitas**. Misalnya, guru meminta "buatkan modul", tetapi tidak menyebut modul yang baik harus memiliki tujuan, peta konsep, uraian materi, aktivitas, latihan, refleksi, asesmen, dan daftar pustaka. Akibatnya, AI membuat modul yang tampak lengkap tetapi mungkin tidak memenuhi standar. Oleh karena itu, prompt sebaiknya memasukkan kriteria kualitas. Dalam kimia, kriteria kualitas juga mencakup akurasi konsep, hubungan representasi, keselamatan, dan potensi miskonsepsi.

Struktur prompt juga dapat membantu guru menghasilkan **alternatif**. Guru dapat meminta AI memberikan beberapa opsi, lalu memilih yang paling sesuai. Misalnya: "Berikan tiga alternatif aktivitas pembelajaran tentang bentuk molekul: satu berbasis model fisik, satu berbasis simulasi digital, dan satu berbasis diskusi gambar. Sertakan kelebihan dan keterbatasannya." Dengan prompt ini, AI tidak memaksakan satu jawaban. Guru tetap menjadi pengambil keputusan.

Dalam pembelajaran kimia berbasis AI, struktur prompt sebaiknya tidak dipahami sebagai formula kaku. Ada kalanya prompt perlu singkat. Ada kalanya prompt perlu panjang. Yang penting adalah kesadaran terhadap unsur-unsurnya. Jika output AI tidak sesuai, guru dapat memeriksa: apakah perannya kurang jelas? apakah tugas terlalu luas? apakah konteks belum disebut? apakah batasan kurang? apakah format tidak ditentukan? Pemeriksaan ini membantu guru memperbaiki prompt secara sistematis.

Struktur prompt juga dapat dikembangkan menjadi template umum untuk guru kimia:

Peran: Bertindaklah sebagai …
Tugas: Susun/buat/jelaskan/evaluasi …
Konteks: Untuk siswa/mahasiswa … dengan kondisi …
Batasan: Perhatikan … hindari … pastikan …
Format Output: Sajikan dalam bentuk …

Template ini sederhana, tetapi sangat berguna untuk pemula. Misalnya:

"Bertindaklah sebagai guru kimia SMA. Buatkan penjelasan konsep larutan penyangga untuk siswa kelas XI yang sudah memahami asam-basa tetapi belum memahami kesetimbangan asam lemah. Hindari langsung menggunakan rumus Henderson-Hasselbalch pada awal penjelasan.

Tekankan mekanisme partikel ketika sedikit asam atau basa ditambahkan. Sajikan dalam empat bagian: fenomena, penjelasan partikel, persamaan kimia, dan pertanyaan diagnostik."

Template ini menunjukkan bahwa struktur prompt dapat langsung membantu guru menghasilkan bahan yang lebih pedagogis.

Dalam jangka panjang, struktur prompt dapat membentuk cara berpikir pedagogis guru. Guru yang terbiasa menyusun prompt dengan peran, tugas, konteks, batasan, dan format akan lebih sadar dalam merancang pembelajaran. Ia akan bertanya: siapa peserta didik saya? apa tujuan saya? apa tugas belajar yang diperlukan? batasan apa yang harus diperhatikan? bagaimana format kegiatan atau asesmen? Dengan demikian, prompt engineering bukan hanya keterampilan menggunakan AI, tetapi juga latihan berpikir desain pembelajaran.

Dengan demikian, struktur prompt dalam pembelajaran kimia merupakan kerangka penting untuk menghasilkan keluaran AI yang lebih terarah, valid, dan berguna. Lima unsur utama—peran, tugas, konteks, batasan, dan format output—membantu guru dan calon guru mengarahkan AI sesuai kebutuhan pembelajaran. Peran menentukan perspektif, tugas menentukan pekerjaan, konteks menentukan kesesuaian, batasan menjaga akurasi dan etika, sedangkan format output membuat keluaran mudah digunakan dan dievaluasi. Dalam pembelajaran kimia, struktur prompt harus selalu disertai validasi konsep, keselamatan, representasi, dan integritas akademik. AI dapat membantu menyusun bahan ajar, LKPD, asesmen, praktikum, visualisasi, dan umpan balik, tetapi kualitas akhirnya tetap bergantung pada kecermatan guru dalam merancang prompt dan memeriksa hasilnya.

Subbab berikutnya akan membahas **prompt untuk menghasilkan penjelasan konsep kimia**. Pembahasan tersebut penting karena salah satu penggunaan AI yang paling sering dalam pembelajaran kimia adalah meminta penjelasan konsep. Guru dan calon guru perlu memahami bagaimana menyusun prompt agar penjelasan AI tidak hanya lancar secara bahasa, tetapi juga akurat, sesuai jenjang, multirepresentasional, dan mampu mengantisipasi miskonsepsi.

3.4 Prompt untuk Menghasilkan Penjelasan Konsep Kimia

Salah satu penggunaan AI yang paling sering dalam pembelajaran kimia adalah meminta AI menghasilkan penjelasan konsep. Guru, dosen, mahasiswa, dan peserta didik dapat menggunakan AI untuk menjelaskan struktur atom, ikatan kimia, stoikiometri, larutan, asam-basa, kesetimbangan, termokimia, kinetika reaksi, elektrokimia, kimia organik, dan berbagai konsep lain. Namun, penjelasan konsep kimia yang baik tidak cukup hanya lancar secara bahasa. Penjelasan harus **akurat secara ilmiah, sesuai jenjang peserta didik, menghubungkan representasi kimia, menghindari miskonsepsi, dan memberi ruang bagi penalaran**.

Dalam file deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia*, prompt engineering diarahkan untuk menghasilkan bahan ajar, ringkasan konsep, analogi, skenario diskusi, umpan balik pembelajaran, simulasi, eksperimen, soal, dan media pembelajaran kimia. Dokumen tersebut juga menekankan bahwa pembelajaran kimia memiliki karakter abstrak dan membutuhkan visualisasi, pemodelan, simulasi, serta pengaitan antara level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Oleh sebab itu, prompt untuk menghasilkan penjelasan konsep

kimia harus disusun dengan mempertimbangkan karakter khas ilmu kimia, bukan sekadar meminta AI "menjelaskan materi".

Prompt yang lemah biasanya bersifat terlalu umum. Misalnya: "Jelaskan ikatan kimia." Prompt semacam ini dapat menghasilkan penjelasan yang benar secara umum, tetapi belum tentu sesuai dengan tujuan pembelajaran. AI mungkin menjelaskan ikatan ionik, kovalen, dan logam secara ringkas, tetapi tidak menyesuaikan dengan jenjang siswa, tidak membahas miskonsepsi, tidak menghubungkan dengan konfigurasi elektron, tidak memberi contoh kontekstual, dan tidak menyajikan pertanyaan diagnostik. Dalam pembelajaran kimia, keluaran seperti itu masih perlu banyak diperbaiki.

Prompt yang lebih baik perlu menyebutkan **peran AI, jenjang peserta didik, fokus konsep, kedalaman materi, representasi yang diharapkan, potensi miskonsepsi, dan format keluaran**. Misalnya:

Contoh prompt dasar yang lebih baik:

"Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas X. Jelaskan konsep ikatan ionik untuk siswa yang baru mempelajari konfigurasi elektron. Gunakan bahasa sederhana, jelaskan proses pembentukan ion, gaya elektrostatik antara ion positif dan ion negatif, contoh NaCl, serta bedakan ikatan ionik dari ikatan kovalen. Sertakan satu analogi sederhana, dua miskonsepsi yang perlu dihindari, dan tiga pertanyaan diagnostik."

Prompt tersebut lebih pedagogis karena tidak hanya meminta penjelasan, tetapi mengarahkan AI agar menghasilkan penjelasan yang sesuai sasaran. Ada peran, konteks, topik, batasan, contoh, miskonsepsi, dan asesmen diagnostik. Guru tetap harus memvalidasi hasilnya, tetapi kualitas keluaran awal kemungkinan lebih baik dibanding prompt umum.

Dalam pembelajaran kimia, prompt untuk penjelasan konsep sebaiknya memuat **tujuan konseptual**. Guru perlu menentukan apakah penjelasan ditujukan untuk pengenalan awal, penguatan konsep, remedial, pengayaan, atau persiapan praktikum. Penjelasan awal biasanya lebih sederhana dan menggunakan fenomena konkret. Penjelasan remedial perlu mengatasi kesalahan pemahaman tertentu. Penjelasan pengayaan dapat lebih mendalam dan mengaitkan konsep dengan aplikasi. Prompt harus membedakan tujuan ini.

Misalnya, prompt untuk pengenalan awal konsep asam-basa dapat berbunyi:

"Jelaskan pengertian asam dan basa untuk siswa SMA kelas XI yang baru memulai materi asam-basa. Mulailah dari contoh kehidupan sehari-hari, kemudian jelaskan teori Arrhenius secara sederhana. Jangan langsung masuk ke perhitungan pH. Akhiri dengan pertanyaan pemantik tentang mengapa cuka dan larutan sabun memiliki sifat berbeda."

Sementara prompt untuk remedial dapat berbunyi:

"Buat penjelasan remedial untuk siswa SMA yang masih menyamakan asam kuat dengan asam pekat. Jelaskan perbedaan kekuatan asam dan konsentrasi larutan. Gunakan contoh HCl encer dan

CH_3COOH pekat. Sertakan analogi terbatas, representasi partikel sederhana, dan tiga pertanyaan untuk mengecek pemahaman."

Kedua prompt tersebut sama-sama membahas asam-basa, tetapi tujuan pedagogisnya berbeda. Prompt pertama untuk pengantar, sedangkan prompt kedua untuk memperbaiki miskonsepsi.

Prompt penjelasan konsep kimia juga perlu memperhatikan **level representasi kimia**. Banyak penjelasan AI cenderung verbal dan simbolik, tetapi kurang menampilkan level makroskopik dan submikroskopik. Padahal, pemahaman kimia yang kuat membutuhkan hubungan antara apa yang diamati, apa yang terjadi pada partikel, dan bagaimana konsep ditulis dalam simbol. Karena itu, guru dapat meminta AI menjelaskan konsep melalui tiga level representasi.

Contoh prompt multirepresentasi:

"Jelaskan reaksi pengendapan AgCl untuk siswa SMA dengan tiga level representasi kimia:

1. level makroskopik: apa yang diamati ketika larutan $AgNO_3$ dan NaCl dicampurkan;
2. level submikroskopik: ion apa yang bergerak dalam larutan dan bagaimana endapan terbentuk;
3. level simbolik: tuliskan persamaan molekul, persamaan ion lengkap, dan persamaan ion bersih. Sertakan catatan tentang ion penonton dan satu pertanyaan diagnostik."

Prompt ini membantu AI menghasilkan penjelasan yang lebih sesuai dengan karakter kimia. Siswa tidak hanya mendapat persamaan reaksi, tetapi juga memahami hubungan antara pengamatan, ion, dan simbol.

Prompt untuk konsep abstrak juga sebaiknya meminta **batas model**. Dalam kimia, model sangat penting tetapi juga berisiko menyesatkan jika dipahami secara literal. Misalnya, model atom Bohr, struktur Lewis, model bola-batang, diagram energi, dan analogi kesetimbangan memiliki batas. AI perlu diarahkan untuk menjelaskan batas tersebut.

Contoh prompt tentang batas model:

"Jelaskan model atom Bohr untuk siswa SMA sebagai tahap awal memahami struktur atom. Jelaskan manfaat model Bohr untuk memahami tingkat energi elektron, tetapi sertakan batasannya, yaitu bahwa elektron dalam model atom modern tidak dipahami sebagai partikel yang bergerak pada lintasan tetap seperti planet. Gunakan bahasa sederhana dan akhiri dengan perbandingan singkat antara model Bohr dan konsep orbital."

Prompt seperti ini mencegah penjelasan AI memperkuat gambaran atom sebagai sistem tata surya mini secara literal.

Prompt penjelasan konsep juga perlu memperhatikan **miskonsepsi umum**. Dalam banyak topik kimia, penjelasan yang benar belum tentu cukup. Guru perlu mengantisipasi kesalahan yang sering muncul. Oleh karena itu, prompt dapat meminta AI menyertakan miskonsepsi dan cara meluruskannya.

Contoh prompt berbasis miskonsepsi:

“Jelaskan konsep kesetimbangan kimia untuk siswa SMA kelas XI. Tekankan bahwa kesetimbangan bersifat dinamis, bukan reaksi berhenti. Jelaskan hubungan antara laju reaksi maju dan laju reaksi balik. Sertakan tiga miskonsepsi umum siswa tentang kesetimbangan dan cara meluruskannya. Gunakan contoh sederhana dan hindari perhitungan yang terlalu kompleks.”

Dengan prompt seperti ini, AI diarahkan untuk menghasilkan penjelasan yang tidak hanya informatif, tetapi juga diagnostik dan korektif.

Prompt untuk menghasilkan penjelasan konsep kimia juga dapat menggunakan pola **fenomena–konsep–partikel–simbol–aplikasi**. Pola ini sangat berguna karena memulai pembelajaran dari pengalaman konkret, kemudian bergerak menuju konsep abstrak dan aplikasi.

Template prompt fenomena–konsep–partikel–simbol–aplikasi:

“Bertindaklah sebagai guru kimia. Jelaskan konsep [nama konsep] untuk [jenjang peserta didik] dengan urutan:

1. fenomena nyata atau contoh sehari-hari;
2. konsep inti;
3. penjelasan pada level partikel;
4. simbol, rumus, atau persamaan yang relevan;
5. aplikasi dalam kehidupan atau teknologi;
6. miskonsepsi yang perlu dihindari;
7. tiga pertanyaan pemahaman.”

Template ini dapat digunakan untuk banyak topik, misalnya larutan elektrolit, reaksi redoks, laju reaksi, termokimia, atau asam-basa.

Contoh penerapannya untuk larutan elektrolit:

“Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas X. Jelaskan konsep larutan elektrolit dengan urutan: fenomena lampu menyala pada alat uji elektrolit, konsep ion bergerak bebas, penjelasan partikel dalam larutan NaCl, persamaan disosiasi NaCl, aplikasi elektrolit dalam baterai atau cairan tubuh, miskonsepsi bahwa elektron bergerak dalam larutan, dan tiga pertanyaan pemahaman.”

Prompt ini mengarahkan AI agar penjelasan tidak hanya definisional, tetapi menghubungkan fenomena, partikel, simbol, dan aplikasi.

Prompt untuk penjelasan konsep juga dapat dikembangkan dalam bentuk **penjelasan bertingkat**. Penjelasan bertingkat penting karena peserta didik memiliki kemampuan berbeda. AI dapat diminta menghasilkan versi sederhana, menengah, dan lanjut. Guru kemudian memilih atau menyesuaikan sesuai kelas.

Contoh prompt penjelasan bertingkat:

“Jelaskan konsep energi aktivasi dalam kinetika reaksi dalam tiga tingkat:

1. untuk siswa pemula dengan analogi sederhana;
2. untuk siswa SMA kelas XI dengan teori tumbukan dan diagram energi;
3. untuk mahasiswa pendidikan kimia dengan hubungan mekanisme reaksi dan keadaan transisi. Sertakan batas analogi agar tidak menimbulkan miskonsepsi.”

Prompt ini membantu guru memperoleh beberapa lapis penjelasan. Guru dapat menggunakannya untuk diferensiasi atau pengayaan.

Prompt penjelasan konsep juga dapat meminta AI menggunakan **analogi terbatas**. Analogi berguna, tetapi harus dikontrol. Prompt tidak cukup meminta “beri analogi”. Guru perlu meminta AI menjelaskan bagian analogi yang sesuai dan bagian yang tidak boleh dipahami secara literal.

Contoh prompt analogi terbatas:

“Buat analogi sederhana untuk menjelaskan kesetimbangan dinamis kepada siswa SMA. Setelah analogi diberikan, jelaskan bagian analogi yang sesuai dengan konsep kimia dan bagian yang tidak boleh dipahami secara literal. Tekankan bahwa pada keadaan setimbang, reaksi maju dan balik tetap berlangsung dengan laju yang sama.”

Prompt semacam ini membantu mencegah analogi berubah menjadi sumber miskonsepsi.

Prompt penjelasan konsep kimia juga perlu memperhatikan **bahasa**. AI dapat menghasilkan bahasa yang terlalu teknis atau terlalu populer. Guru perlu menentukan gaya bahasa. Untuk siswa awal, gunakan bahasa sederhana. Untuk mahasiswa, gunakan bahasa akademik. Untuk bahan ajar, gunakan gaya formal tetapi komunikatif. Untuk skenario diskusi, gunakan gaya dialogis.

Contoh prompt pengaturan bahasa:

“Jelaskan konsep larutan penyangga untuk siswa SMA kelas XI dengan bahasa sederhana, kalimat tidak terlalu panjang, dan contoh yang dekat dengan kehidupan sehari-hari. Hindari istilah teknis yang belum dijelaskan. Jika menggunakan istilah asam lemah, basa konjugasi, atau kesetimbangan, jelaskan artinya secara singkat.”

Prompt ini membantu AI menyesuaikan bahasa dengan peserta didik.

Prompt juga dapat meminta **pertanyaan Socratic** agar penjelasan tidak langsung menjadi ceramah panjang. Pertanyaan Socratic membantu siswa berpikir bertahap melalui pertanyaan pemandu.

Contoh prompt Socratic:

“Bertindaklah sebagai tutor kimia. Bantu siswa memahami mengapa CO_2 bersifat nonpolar sedangkan H_2O bersifat polar. Jangan langsung memberi jawaban lengkap. Ajukan pertanyaan bertahap tentang bentuk molekul, polaritas ikatan, dan resultan momen dipol. Setelah setiap pertanyaan, berikan petunjuk singkat.”

Prompt seperti ini cocok untuk penggunaan AI sebagai tutor belajar, bukan mesin jawaban.

Prompt penjelasan konsep juga dapat diarahkan untuk **mengoreksi jawaban siswa**. Dalam hal ini, guru atau siswa memberikan jawaban awal, lalu AI diminta memberi umpan balik. Agar aman, prompt harus meminta AI tidak hanya menyatakan benar-salah, tetapi menjelaskan alasan.

Contoh prompt koreksi konsep:

"Seorang siswa menjawab: 'Katalis membuat kesetimbangan bergeser ke arah produk.' Berikan umpan balik konseptual untuk siswa SMA. Jelaskan bagian yang keliru, berikan konsep yang benar tentang katalis dan energi aktivasi, serta akhiri dengan satu pertanyaan pemandu. Jangan gunakan bahasa yang menyalahkan siswa."

Prompt ini menghasilkan penjelasan korektif yang lebih mendidik.

Dalam penjelasan konsep kimia, prompt juga dapat meminta AI membuat **contoh dan noncontoh**. Contoh dan noncontoh membantu siswa membedakan konsep yang mirip. Misalnya, asam kuat dan asam pekat, elektrolit kuat dan larutan pekat, ikatan kovalen dan gaya antarmolekul, reaksi spontan dan reaksi cepat.

Contoh prompt contoh-noncontoh:

"Jelaskan perbedaan reaksi spontan dan reaksi cepat dalam kimia. Berikan dua contoh reaksi spontan yang tidak selalu cepat, dua contoh reaksi cepat, dan satu noncontoh. Jelaskan mengapa spontanitas berkaitan dengan termodinamika, sedangkan kecepatan reaksi berkaitan dengan kinetika."

Prompt ini membantu menghindari pencampuran konsep termodinamika dan kinetika.

Prompt penjelasan konsep dapat pula meminta AI membuat **perbandingan konsep**. Dalam kimia, banyak konsep perlu dipahami melalui perbedaan. Prompt perbandingan dapat menghasilkan tabel yang efektif.

Contoh prompt perbandingan:

"Buat tabel perbandingan antara ikatan kovalen, ikatan ionik, ikatan logam, dan gaya antarmolekul untuk siswa SMA. Kolom tabel meliputi: partikel yang terlibat, mekanisme interaksi, contoh zat, sifat umum, dan miskonsepsi yang sering muncul. Jelaskan secara singkat bahwa gaya antarmolekul berbeda dari ikatan dalam molekul."

Prompt seperti ini menghasilkan bahan ajar yang membantu klarifikasi konsep.

Prompt juga dapat meminta **urutan penjelasan dari sederhana ke kompleks**. Ini penting untuk mengurangi beban kognitif. Misalnya, dalam menjelaskan elektrokimia, jangan langsung masuk ke notasi sel dan persamaan Nernst jika siswa belum memahami redoks.

Contoh prompt urutan sederhana-ke-kompleks:

"Susun penjelasan bertahap tentang sel volta untuk siswa SMA kelas XII. Mulai dari konsep redoks, kemudian anode dan katode, aliran elektron, fungsi jembatan garam, notasi sel, dan perhitungan potensial sel sederhana. Pada setiap tahap, sertakan satu pertanyaan cek pemahaman."

Prompt ini membantu AI menghasilkan alur pembelajaran yang lebih runtut.

Dalam konsep yang memerlukan perhitungan, prompt harus meminta AI menjelaskan **makna kimia di balik rumus**, bukan hanya langkah matematis. Banyak siswa dapat menghitung tetapi tidak memahami konsep. Prompt perlu menekankan interpretasi.

Contoh prompt konsep-perhitungan:

"Jelaskan konsep mol dan stoikiometri untuk siswa SMA. Jangan hanya memberi rumus. Jelaskan makna mol sebagai jembatan antara jumlah partikel dan massa zat. Gunakan contoh reaksi sederhana yang sudah disetarakan. Tunjukkan langkah perhitungan, tetapi pada setiap langkah jelaskan makna kimianya."

Prompt seperti ini membantu mencegah pembelajaran kimia berubah menjadi prosedur matematika mekanis.

Prompt untuk penjelasan konsep juga dapat meminta **hubungan dengan praktikum**. Kimia sebagai ilmu eksperimental perlu dihubungkan dengan pengalaman laboratorium.

Contoh prompt konsep-praktikum:

"Jelaskan konsep reaksi eksoterm dan endoterm dengan menghubungkannya pada praktikum sederhana perubahan suhu larutan. Sertakan apa yang diamati siswa, bagaimana data suhu dicatat, bagaimana konsep sistem-lingkungan dijelaskan, dan miskonsepsi yang perlu dihindari tentang tanda ΔH."

Prompt ini membantu AI mengaitkan konsep dengan data dan pengalaman empiris.

Prompt penjelasan konsep juga dapat diarahkan untuk menghasilkan **narasi visual**. Narasi visual berguna untuk membuat slide, animasi, atau infografik.

Contoh prompt narasi visual:

"Buat narasi visual untuk animasi singkat tentang pelarutan NaCl dalam air. Jelaskan adegan demi adegan: kristal NaCl, orientasi molekul air, pemisahan ion Na^+ dan Cl^-, proses hidrasi, dan hubungan dengan daya hantar listrik. Sertakan catatan bahwa ukuran partikel dan warna hanya representasi model."

Prompt ini menghasilkan bahan dasar untuk media pembelajaran visual.

Namun, guru perlu menyadari bahwa prompt penjelasan konsep tetap memiliki risiko. Risiko pertama adalah **AI menghasilkan penjelasan yang terlalu meyakinkan tetapi salah**. Risiko kedua adalah **AI menyederhanakan konsep secara berlebihan**. Risiko ketiga adalah **AI tidak sesuai dengan kurikulum atau jenjang**. Risiko keempat adalah **AI menggunakan analogi yang menyesatkan**. Risiko kelima adalah **AI tidak menyertakan batas model**. Karena itu, setiap penjelasan AI harus diperiksa oleh guru.

Untuk memeriksa penjelasan konsep yang dihasilkan AI, guru dapat menggunakan daftar cek berikut:

1. Apakah konsep kimia yang dijelaskan benar?
2. Apakah istilah kimia digunakan secara tepat?
3. Apakah penjelasan sesuai jenjang peserta didik?
4. Apakah hubungan makroskopik, submikroskopik, dan simbolik jelas?
5. Apakah ada persamaan, rumus, atau struktur yang salah?
6. Apakah analogi memiliki batas yang dijelaskan?
7. Apakah miskonsepsi umum diantisipasi?
8. Apakah bahasa mudah dipahami?
9. Apakah ada klaim yang perlu sumber atau verifikasi?
10. Apakah penjelasan mendorong siswa berpikir, bukan hanya menghafal?

Daftar cek ini penting karena AI tidak boleh menjadi sumber final pengetahuan kimia.

Dalam pembelajaran calon guru, mahasiswa perlu dilatih membandingkan prompt yang buruk dan prompt yang baik. Misalnya, dosen dapat memberikan prompt “jelaskan larutan penyangga” dan prompt terstruktur tentang larutan penyangga. Mahasiswa kemudian membandingkan keluaran AI dari keduanya. Mereka diminta menilai akurasi, kedalaman, kesesuaian jenjang, representasi, miskonsepsi, dan kegunaan pedagogis. Latihan ini memperlihatkan secara konkret bahwa kualitas prompt memengaruhi kualitas penjelasan.

Mahasiswa juga perlu dilatih **merevisi penjelasan AI**. Setelah AI menghasilkan penjelasan, mahasiswa harus memeriksa kesalahan dan memperbaikinya. Misalnya, jika AI menjelaskan ikatan hidrogen sebagai “ikatan kovalen lemah”, mahasiswa harus meluruskan bahwa ikatan hidrogen adalah interaksi antarmolekul atau intramolekul tertentu yang melibatkan H terikat pada atom sangat elektronegatif dan pasangan elektron bebas atom elektronegatif lain, bukan ikatan kovalen biasa. Proses revisi ini membangun literasi kimia dan literasi AI sekaligus.

Prompt untuk penjelasan konsep juga dapat digunakan sebagai alat **pembelajaran reflektif siswa**. Siswa dapat diminta membuat prompt sendiri untuk meminta AI menjelaskan konsep yang belum dipahami. Namun, guru perlu memberi aturan. Siswa sebaiknya tidak menulis “jawab soal ini”, tetapi “jelaskan konsep yang saya belum pahami” atau “beri saya petunjuk bertahap”. Siswa juga harus diminta membandingkan jawaban AI dengan buku atau catatan guru. Dengan demikian, AI digunakan untuk memperkuat belajar, bukan menggantikan belajar.

Guru dapat memberikan template prompt kepada siswa:

“Saya siswa [kelas]. Saya sedang belajar [topik]. Saya belum memahami [bagian sulit]. Jelaskan dengan bahasa sederhana, gunakan contoh, hubungkan dengan level partikel, dan jangan langsung memberi jawaban soal. Setelah penjelasan, berikan tiga pertanyaan untuk mengecek pemahaman saya.”

Template ini membantu siswa menggunakan AI secara produktif dan bertanggung jawab.

Prompt penjelasan konsep juga dapat membantu **remedial individual**. Jika seorang siswa kesulitan pada konsep tertentu, guru dapat menyusun prompt untuk menghasilkan penjelasan khusus. Misalnya:

“Buat penjelasan remedial untuk siswa yang masih mengira bahwa ketika air mendidih, ikatan O–H dalam molekul air putus. Jelaskan perbedaan ikatan kovalen dalam molekul dan gaya antarmolekul antar molekul. Gunakan visualisasi verbal sederhana dan pertanyaan cek pemahaman.”

Prompt seperti ini menargetkan miskonsepsi spesifik.

Untuk pengayaan, prompt dapat diarahkan agar AI menghubungkan konsep sekolah dengan konsep lanjutan atau aplikasi. Misalnya:

“Buat penjelasan pengayaan untuk siswa SMA yang sudah memahami ikatan kovalen dan bentuk molekul. Hubungkan konsep polaritas molekul dengan kelarutan, titik didih, dan interaksi obat dengan reseptor secara sederhana. Jangan masuk ke detail biokimia yang terlalu kompleks.”

Prompt ini membantu siswa yang sudah kuat konsep untuk melihat relevansi lebih luas.

Prompt penjelasan konsep juga dapat digunakan untuk **pembelajaran lintas disiplin**. Kimia sering terkait dengan biologi, fisika, lingkungan, kesehatan, dan teknologi. AI dapat membantu membuat penjelasan yang menghubungkan konsep kimia dengan konteks lain. Namun, guru harus memastikan batasnya jelas.

Contoh:

“Jelaskan konsep larutan penyangga dengan menghubungkannya pada sistem buffer darah secara sederhana untuk siswa SMA. Fokus pada gagasan bahwa larutan penyangga menahan perubahan pH ketika sedikit asam atau basa ditambahkan. Jangan membahas mekanisme fisiologi yang terlalu kompleks. Sertakan pertanyaan reflektif tentang pentingnya kestabilan pH.”

Prompt ini menghubungkan kimia dengan biologi tanpa melampaui tingkat siswa.

Dalam konteks etika, prompt penjelasan konsep harus menghindari penggunaan AI untuk menyebarkan informasi berbahaya. Jika topik berkaitan dengan bahan kimia berisiko, guru perlu membatasi pembahasan pada konsep pembelajaran dan keselamatan. Misalnya, pada reaksi redoks atau kimia organik tertentu, prompt harus menghindari prosedur sintesis berbahaya. Untuk pembelajaran sekolah, fokus sebaiknya pada konsep, bukan instruksi produksi zat berbahaya.

Prompt untuk penjelasan konsep juga harus memperhatikan **sumber rujukan**. Jika penjelasan digunakan untuk buku ajar atau modul akademik, guru dapat meminta AI memberi daftar konsep yang perlu diverifikasi dengan buku teks atau jurnal. Namun, semua referensi harus diperiksa. AI dapat membantu menyusun draf, tetapi rujukan akademik harus berasal dari sumber yang benar-benar ada dan relevan.

Dalam penulisan buku atau modul, prompt dapat berbunyi:

"Buat penjelasan akademik tentang konsep kesetimbangan kimia untuk calon guru kimia. Jelaskan kesetimbangan dinamis, Kc, Qc, prinsip Le Chatelier, miskonsepsi umum, dan implikasi pedagogis. Gunakan gaya bahasa buku ajar. Jangan mencantumkan referensi spesifik kecuali dapat diverifikasi; beri catatan bagian yang perlu didukung literatur."

Prompt ini membantu menjaga kehati-hatian akademik.

Pada akhirnya, prompt untuk menghasilkan penjelasan konsep kimia harus dirancang sebagai alat pedagogis. Prompt yang baik mengarahkan AI agar menjelaskan konsep secara benar, sesuai jenjang, multirepresentasional, kontekstual, bertahap, dan reflektif. AI dapat membantu guru membuat berbagai versi penjelasan, tetapi guru tetap harus memvalidasi setiap keluaran. Dalam pembelajaran kimia, kualitas penjelasan tidak ditentukan oleh panjangnya teks, melainkan oleh ketepatan konsep, kejelasan hubungan representasi, kemampuan mengantisipasi miskonsepsi, dan daya dorongnya terhadap penalaran siswa.

Dengan demikian, prompt untuk penjelasan konsep kimia perlu memuat beberapa unsur utama: topik yang spesifik, jenjang peserta didik, tujuan penjelasan, level representasi, contoh, analogi terbatas, potensi miskonsepsi, format keluaran, dan permintaan pertanyaan cek pemahaman. Jika unsur-unsur ini diperhatikan, AI dapat menjadi asisten yang sangat berguna dalam membantu guru menjelaskan konsep kimia yang abstrak dan kompleks. Namun, AI tetap harus berada di bawah kendali pedagogis guru sebagai validator ilmiah dan pengarah proses belajar.

Subbab berikutnya akan membahas **prompt untuk membuat ringkasan, analogi, dan contoh kontekstual**. Pembahasan tersebut penting karena selain menjelaskan konsep secara lengkap, guru dan calon guru kimia juga sering membutuhkan AI untuk meringkas materi, membuat analogi yang aman, dan menghubungkan konsep kimia dengan kehidupan sehari-hari agar pembelajaran menjadi lebih bermakna.

3.5 Prompt untuk Membuat Ringkasan, Analogi, dan Contoh Kontekstual

Prompt untuk membuat ringkasan, analogi, dan contoh kontekstual memiliki kedudukan penting dalam pembelajaran kimia karena ketiganya sering digunakan guru untuk membantu peserta didik memahami materi yang kompleks. Ringkasan membantu menyederhanakan informasi yang luas menjadi gagasan inti. Analogi membantu menjembatani konsep abstrak dengan pengalaman yang lebih dikenal. Contoh kontekstual membantu peserta didik melihat relevansi kimia dalam kehidupan sehari-hari, lingkungan, teknologi, kesehatan, industri, dan masyarakat. Namun, ketiga bentuk bantuan ini juga memiliki risiko: ringkasan dapat menyederhanakan secara berlebihan,

analogi dapat menimbulkan miskonsepsi, dan contoh kontekstual dapat keliru jika tidak diverifikasi.

Dalam deskripsi mata kuliah *Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Kimia*, prompt engineering diarahkan untuk menghasilkan ringkasan konsep, analogi, skenario diskusi, bahan ajar, soal, eksperimen, simulasi, dan umpan balik pembelajaran. Dokumen tersebut juga menekankan bahwa AI perlu digunakan untuk mendukung pembelajaran yang bermakna, reflektif, dan menyenangkan melalui desain yang kritis, kreatif, etis, dan pedagogis. Dengan demikian, prompt untuk ringkasan, analogi, dan contoh kontekstual harus dirancang bukan hanya agar AI menghasilkan teks yang menarik, tetapi agar teks tersebut membantu pemahaman kimia yang benar.

Ringkasan merupakan bentuk penyajian kembali materi secara padat, sistematis, dan terfokus pada inti konsep. Dalam pembelajaran kimia, ringkasan dapat membantu siswa mengorganisasi materi yang luas, misalnya ringkasan tentang teori atom, sistem periodik unsur, ikatan kimia, stoikiometri, asam-basa, kesetimbangan, termokimia, elektrokimia, atau kimia organik. Namun, ringkasan yang baik tidak sekadar memendekkan teks. Ringkasan harus mempertahankan hubungan konseptual utama, istilah kunci, representasi penting, contoh yang relevan, dan batas konsep.

Prompt ringkasan yang kurang efektif biasanya terlalu umum, misalnya: “Ringkas materi ikatan kimia.” AI mungkin menghasilkan ringkasan pendek, tetapi belum tentu sesuai jenjang, belum tentu mengaitkan konfigurasi elektron, belum tentu membedakan ikatan intramolekul dan antarmolekul, dan belum tentu menyebut miskonsepsi penting. Prompt ringkasan yang lebih baik harus menyebut tujuan, sasaran pembaca, batas materi, format, dan fokus konsep.

Contoh prompt ringkasan yang lebih baik adalah:

“Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas X. Buat ringkasan materi ikatan kimia untuk siswa yang baru mempelajari konfigurasi elektron. Ringkasan harus mencakup ikatan ionik, kovalen, dan logam; perbedaan partikel yang terlibat; contoh zat; hubungan dengan kestabilan elektron; serta dua miskonsepsi yang perlu dihindari. Sajikan dalam tabel ringkas dan akhiri dengan lima kata kunci.”

Prompt ini lebih efektif karena ringkasan tidak hanya pendek, tetapi terstruktur dan sesuai tujuan. AI diarahkan untuk membuat ringkasan yang dapat dipakai sebagai bahan belajar, bukan sekadar potongan informasi umum.

Ringkasan kimia sebaiknya tetap menjaga **relasi antarkonsep**. Misalnya, pada materi stoikiometri, ringkasan tidak cukup menyebut mol, massa molar, koefisien, dan pereaksi pembatas secara terpisah. Ringkasan harus menunjukkan bahwa mol menjadi jembatan antara massa zat dan jumlah partikel, sedangkan koefisien reaksi menyatakan perbandingan mol zat yang bereaksi. Jika hubungan ini hilang, ringkasan menjadi daftar istilah, bukan alat pemahaman. Oleh karena itu, prompt dapat meminta AI menampilkan hubungan konsep.

Contoh prompt:

“Buat ringkasan konseptual tentang stoikiometri untuk siswa SMA. Jangan hanya membuat daftar rumus. Tunjukkan hubungan antara persamaan reaksi setara, koefisien, mol, massa molar, pereaksi pembatas, dan hasil reaksi. Sajikan sebagai peta alur langkah berpikir disertai penjelasan singkat makna kimia pada setiap langkah.”

Prompt ini membantu AI menghasilkan ringkasan yang lebih bermakna karena menekankan alur berpikir, bukan hafalan prosedur.

Prompt ringkasan juga dapat dibuat berdasarkan **tingkat kedalaman**. Guru dapat meminta ringkasan satu paragraf, ringkasan tabel, ringkasan untuk kartu belajar, ringkasan berbasis peta konsep, atau ringkasan untuk persiapan ujian. Setiap jenis ringkasan memiliki fungsi berbeda. Ringkasan satu paragraf cocok untuk pengantar. Ringkasan tabel cocok untuk membandingkan konsep. Ringkasan peta konsep cocok untuk melihat hubungan. Ringkasan kartu belajar cocok untuk mengulang istilah kunci.

Contoh prompt ringkasan bertingkat:

“Buat tiga versi ringkasan tentang larutan penyangga:

1. versi sangat singkat maksimal 100 kata untuk pengantar;
2. versi tabel yang memuat komponen, cara kerja, contoh, dan fungsi;
3. versi peta konsep tekstual yang menunjukkan hubungan asam lemah, basa konjugasi, kesetimbangan, penambahan sedikit asam, dan penambahan sedikit basa. Gunakan bahasa SMA kelas XI.”

Prompt ini membantu guru memperoleh beberapa bentuk ringkasan untuk kebutuhan berbeda.

Ringkasan juga dapat digunakan untuk **remedial**. Dalam remedial, ringkasan harus menekankan bagian yang sering salah dipahami. Misalnya, pada materi asam-basa, ringkasan remedial perlu membedakan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer. Pada kesetimbangan, ringkasan remedial perlu menekankan bahwa reaksi tidak berhenti. Pada gaya antarmolekul, ringkasan remedial perlu membedakan ikatan dalam molekul dan interaksi antar molekul.

Contoh prompt ringkasan remedial:

“Buat ringkasan remedial untuk siswa yang masih salah membedakan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer. Gunakan tabel empat kolom: istilah, makna kimia, contoh, dan miskonsepsi yang perlu dihindari. Gunakan bahasa sederhana dan sertakan dua pertanyaan cek pemahaman.”

Prompt seperti ini membuat ringkasan menjadi alat koreksi miskonsepsi.

Selain ringkasan, analogi merupakan alat pedagogis yang kuat dalam pembelajaran kimia. Analogi membantu peserta didik memahami konsep abstrak melalui konsep lain yang lebih dikenal. Misalnya, kesetimbangan dinamis dapat dianalogikan dengan dua proses berlawanan yang berlangsung seimbang, energi aktivasi dapat dianalogikan dengan bukit yang harus dilalui, dan

larutan penyangga dapat dianalogikan secara terbatas dengan sistem yang menahan perubahan. Analogi dapat membuat konsep lebih mudah dipahami, terutama ketika konsep tersebut tidak dapat diamati langsung.

Namun, analogi harus digunakan dengan hati-hati. Literatur pendidikan sains menegaskan bahwa analogi dapat membantu pembelajaran konsep abstrak, tetapi juga dapat menimbulkan overgeneralisasi, konsepsi alternatif, atau pemahaman yang tidak memadai jika peserta didik tidak memahami batas analogi. Brown juga menekankan bahwa analogi dalam sains dapat disalahpahami jika siswa tidak diajari bagaimana analogi bekerja dan di mana batasnya. Karena itu, prompt untuk membuat analogi kimia harus selalu meminta bagian "kesesuaian analogi" dan "batas analogi".

Prompt analogi yang lemah adalah: "Buat analogi tentang ikatan kimia." AI mungkin menghasilkan analogi yang menarik, tetapi bisa menyesatkan. Misalnya, analogi "atom ingin mencapai oktet" dapat membantu secara praktis, tetapi berisiko menanamkan gagasan teleologis seolah-olah atom memiliki kehendak. Prompt analogi yang lebih baik harus meminta analogi yang terbatas dan penjelasan batasnya.

Contoh prompt analogi yang lebih aman:

"Buat analogi sederhana untuk menjelaskan ikatan kovalen kepada siswa SMA kelas X. Analogi harus membantu siswa memahami pemakaian bersama pasangan elektron, tetapi jangan menggambarkan atom seolah-olah memiliki kehendak atau perasaan. Setelah analogi, jelaskan bagian analogi yang sesuai dengan konsep kimia dan bagian yang tidak boleh dipahami secara literal."

Prompt ini mengarahkan AI agar analogi tidak hanya menarik, tetapi juga aman secara konseptual.

Analogi yang baik sebaiknya memiliki tiga bagian: **konsep target**, **konsep analog**, dan **pemetaan hubungan**. Konsep target adalah konsep kimia yang ingin dijelaskan. Konsep analog adalah pengalaman yang lebih dikenal siswa. Pemetaan hubungan menjelaskan bagian mana dari analogi yang berhubungan dengan konsep. Dalam prompt, guru dapat meminta AI menyajikan ketiganya agar analogi tidak menjadi cerita bebas.

Contoh prompt:

"Buat analogi untuk menjelaskan energi aktivasi. Sajikan dalam tabel dengan kolom: konsep target dalam kimia, analogi sehari-hari, bagian yang sesuai, dan batas analogi. Gunakan contoh bukit energi, tetapi jelaskan bahwa molekul tidak benar-benar mendaki bukit secara fisik."

Prompt seperti ini membantu siswa memahami analogi sebagai alat model, bukan realitas literal.

Analogi juga dapat digunakan untuk membedakan konsep yang mirip. Misalnya, untuk membedakan termodinamika dan kinetika, guru dapat meminta analogi yang menunjukkan perbedaan antara "apakah sesuatu mungkin terjadi" dan "seberapa cepat terjadi". Untuk

membedakan asam kuat dan asam pekat, analogi dapat menekankan perbedaan antara derajat ionisasi dan jumlah zat terlarut. Namun, analogi harus tetap dibatasi.

Contoh prompt:

“Buat analogi untuk membedakan spontanitas termodinamika dan laju reaksi. Analogi harus menunjukkan bahwa sesuatu dapat mungkin terjadi tetapi berlangsung sangat lambat. Sertakan contoh kimia sederhana dan jelaskan batas analogi agar siswa tidak menyamakan spontan dengan cepat.”

Prompt ini membantu menghindari miskonsepsi umum bahwa reaksi spontan selalu berlangsung cepat.

AI juga dapat diminta membuat **beberapa analogi alternatif** agar guru dapat memilih yang paling sesuai. Tidak semua analogi cocok untuk semua siswa. Analogi yang dekat dengan pengalaman siswa perkotaan mungkin berbeda dari siswa pedesaan. Analogi berbasis olahraga, lalu lintas, pasar, dapur, atau permainan dapat dipilih sesuai konteks. Namun, semakin banyak analogi, semakin besar kebutuhan seleksi guru.

Contoh prompt:

“Berikan tiga analogi berbeda untuk menjelaskan larutan penyangga kepada siswa SMA: satu analogi dari kehidupan rumah tangga, satu dari sistem antrean, dan satu dari keseimbangan sosial. Untuk setiap analogi, jelaskan bagian yang sesuai, batas analogi, dan potensi miskonsepsi.”

Prompt ini memberi opsi kepada guru sekaligus memaksa AI menyertakan evaluasi.

Analogi juga dapat dipakai dalam **joyful learning**, karena analogi yang tepat membuat pembelajaran lebih hidup. Namun, analogi tidak boleh mengubah konsep menjadi hiburan yang menyesatkan. Guru perlu menjaga agar analogi tetap mendukung tujuan pembelajaran. AI dapat membantu membuat analogi kreatif, tetapi guru harus menjadi editor konseptual. Dalam kimia, analogi yang lucu tetapi salah lebih berbahaya daripada penjelasan sederhana yang benar.

Selain ringkasan dan analogi, contoh kontekstual juga sangat penting dalam pembelajaran kimia. Contoh kontekstual menghubungkan konsep kimia dengan kehidupan nyata. Pembelajaran kontekstual dapat meningkatkan relevansi, motivasi, dan pemahaman karena siswa melihat mengapa konsep kimia penting. Studi tentang *Chemistry in Everyday Life* dalam *Journal of Chemical Education* menunjukkan bahwa kursus kimia berbasis kehidupan sehari-hari dikembangkan untuk meningkatkan keterlibatan afektif siswa pemula dengan menekankan relevansi kimia dalam kehidupan rumah tangga dan keputusan sehari-hari. Pendekatan berbasis konteks juga secara luas dipandang dapat membantu siswa memahami ide sains melalui situasi yang mereka kenali dan anggap bermakna.

Prompt contoh kontekstual yang lemah adalah: “Berikan contoh kimia dalam kehidupan sehari-hari.” AI dapat menghasilkan daftar panjang, tetapi tidak selalu terhubung dengan konsep yang

sedang dipelajari. Prompt yang lebih baik harus menyebut konsep, jenjang, konteks lokal, dan cara menghubungkan contoh dengan konsep.

Contoh prompt:

“Buat lima contoh kontekstual untuk menjelaskan konsep reaksi redoks kepada siswa SMA. Contoh harus dekat dengan kehidupan sehari-hari, seperti korosi, baterai, pemutih, respirasi, atau pencoklatan buah. Untuk setiap contoh, jelaskan zat yang mengalami oksidasi dan reduksi secara sederhana, serta pertanyaan diskusi yang dapat diajukan guru.”

Prompt ini membuat contoh tidak hanya berupa daftar, tetapi alat pembelajaran.

Contoh kontekstual harus memiliki **koneksi eksplisit dengan konsep kimia**. Jika guru menyebut baterai sebagai contoh elektrokimia, siswa perlu memahami bahwa baterai melibatkan reaksi redoks yang menghasilkan aliran elektron. Jika guru menyebut obat maag sebagai contoh asam-basa, siswa perlu memahami reaksi netralisasi atau sistem penyangga tergantung konteks. Jika guru menyebut korosi, siswa perlu memahami oksidasi besi dan peran air serta oksigen. Tanpa koneksi eksplisit, contoh menjadi cerita umum, bukan pembelajaran kimia.

Prompt dapat meminta AI menampilkan contoh kontekstual dalam tabel:

“Buat tabel contoh kontekstual materi elektrokimia untuk siswa SMA kelas XII. Kolom tabel: konteks kehidupan, konsep kimia yang terlibat, penjelasan singkat, level representasi yang dapat ditunjukkan, dan pertanyaan diskusi. Gunakan contoh baterai, pelapisan logam, korosi, dan elektrolisis air secara aman.”

Format tabel membantu guru melihat hubungan antara contoh dan konsep.

Contoh kontekstual juga perlu memperhatikan **akurasi faktual**. AI dapat membuat klaim yang tidak tepat tentang bahan kimia, kesehatan, lingkungan, atau teknologi. Misalnya, AI dapat menyederhanakan secara keliru bahwa semua bahan alami pasti aman, semua plastik selalu berbahaya dengan cara yang sama, atau semua asam rumah tangga memiliki risiko yang sama. Guru harus memverifikasi contoh kontekstual, terutama jika menyangkut kesehatan, lingkungan, pangan, dan keselamatan.

Prompt dapat memasukkan batasan:

“Berikan contoh kontekstual tentang asam-basa dalam kehidupan sehari-hari, tetapi hindari klaim kesehatan yang tidak dapat diverifikasi. Jangan menyarankan eksperimen mencicipi bahan. Fokus pada indikator, pH, netralisasi, dan penggunaan aman di rumah.”

Batasan ini penting karena contoh kontekstual sering dekat dengan aktivitas sehari-hari yang dapat menimbulkan risiko jika tidak diarahkan.

Contoh kontekstual juga dapat digunakan untuk **problem-based learning**. Guru dapat meminta AI membuat skenario masalah yang memerlukan konsep kimia untuk dianalisis. Misalnya, air

sumur berbau logam, pagar besi cepat berkarat, tanaman tidak tumbuh karena pH tanah, minuman bersoda kehilangan gas, atau baterai cepat habis. Prompt harus meminta data, pertanyaan investigasi, dan konsep yang digunakan.

Contoh prompt:

“Buat skenario problem-based learning untuk siswa SMA tentang korosi pada pagar besi di lingkungan pesisir. Skenario harus memuat masalah, data sederhana, pertanyaan investigasi, konsep redoks yang terlibat, kemungkinan solusi, dan pertanyaan reflektif tentang dampak lingkungan. Hindari solusi yang tidak realistis.”

Prompt ini mengubah contoh kontekstual menjadi aktivitas berpikir.

Contoh kontekstual juga dapat membantu **meaningful learning**. Pembelajaran bermakna terjadi ketika konsep baru dihubungkan dengan pengetahuan atau pengalaman yang sudah dimiliki siswa. Misalnya, konsep larutan penyangga dapat dihubungkan dengan kestabilan pH darah atau produk perawatan tertentu, dengan batas penjelasan yang sesuai. Konsep kesetimbangan gas dapat dihubungkan dengan minuman bersoda. Konsep polimer dapat dihubungkan dengan plastik, karet, serat tekstil, dan bioplastik. AI dapat membantu menemukan konteks, tetapi guru harus memilih yang paling sesuai.

Prompt untuk meaningful learning dapat berbunyi:

“Buat contoh kontekstual untuk menjelaskan konsep kesetimbangan gas melalui minuman bersoda. Jelaskan hubungan antara CO_2 terlarut, tekanan, pembukaan tutup botol, dan keluarnya gelembung gas. Gunakan bahasa SMA dan sertakan pertanyaan yang menghubungkan fenomena makroskopik dengan konsep kesetimbangan.”

Prompt ini membantu siswa menghubungkan pengalaman sehari-hari dengan konsep abstrak.

Contoh kontekstual juga dapat mendukung **mindful learning** jika disertai pertanyaan reflektif. Siswa tidak hanya membaca contoh, tetapi menilai hubungan konsep, batas penjelasan, dan dampak sosial. Misalnya, pada topik plastik, siswa dapat diminta memikirkan hubungan antara struktur polimer, sifat bahan, penggunaan, limbah, dan keberlanjutan. AI dapat membantu membuat pertanyaan reflektif.

Contoh prompt:

“Buat contoh kontekstual tentang polimer dalam kemasan makanan untuk siswa SMA. Jelaskan hubungan struktur polimer dengan sifat fleksibel, kuat, atau tahan air. Sertakan pertanyaan reflektif tentang manfaat, limbah plastik, dan pilihan material yang lebih berkelanjutan. Hindari klaim lingkungan yang terlalu umum tanpa catatan verifikasi.”

Prompt ini menghubungkan kimia dengan tanggung jawab sosial.

Contoh kontekstual juga dapat digunakan untuk **joyful learning** jika dikemas sebagai cerita, dialog, komik, permainan, atau proyek kecil. AI dapat membantu membuat narasi ringan tanpa menghilangkan konsep. Misalnya, dialog antara ion Na^+ dan Cl^- dalam larutan, perjalanan elektron dalam baterai, atau cerita molekul CO_2 keluar dari minuman bersoda. Namun, guru harus memeriksa agar narasi tidak membuat partikel tampak memiliki kehendak secara literal. Jika personifikasi digunakan, guru harus menjelaskan bahwa itu hanya strategi cerita.

Prompt naratif dapat berbunyi:

"Buat cerita pendek edukatif untuk menjelaskan proses pelarutan NaCl dalam air kepada siswa SMP/SMA. Cerita boleh menggunakan personifikasi ringan, tetapi harus diberi catatan bahwa ion dan molekul tidak memiliki kehendak. Setelah cerita, tuliskan penjelasan ilmiah yang benar pada level partikel."

Prompt ini menjaga kreativitas sekaligus akurasi.

Dalam menggunakan AI untuk ringkasan, analogi, dan contoh kontekstual, guru perlu menerapkan **validasi tiga lapis**. Lapis pertama adalah validasi kimia: apakah konsep, istilah, persamaan, dan data benar? Lapis kedua adalah validasi pedagogis: apakah sesuai jenjang, tujuan, dan kebutuhan siswa? Lapis ketiga adalah validasi etis-kontekstual: apakah contoh aman, tidak bias, tidak menyesatkan, dan sesuai konteks lokal? Tanpa validasi ini, output AI dapat terlihat menarik tetapi tidak layak digunakan.

Guru juga perlu mengajarkan kepada siswa cara menggunakan prompt untuk membuat ringkasan belajar. Siswa dapat menggunakan AI untuk membantu memahami materi, tetapi tidak boleh sekadar menyalin. Template prompt siswa dapat berbunyi:

"Saya siswa SMA kelas XI. Ringkas materi [topik] menjadi lima poin inti. Untuk setiap poin, berikan satu contoh dan satu pertanyaan cek pemahaman. Jangan hilangkan konsep penting dan gunakan bahasa sederhana."

Prompt seperti ini membantu siswa belajar aktif. Guru dapat meminta siswa membandingkan ringkasan AI dengan catatan kelas atau buku teks. Dengan cara ini, siswa belajar mengevaluasi kualitas ringkasan.

Untuk analogi, siswa dapat menggunakan prompt:

"Buat analogi untuk membantu saya memahami [konsep kimia]. Setelah analogi, jelaskan bagian mana yang sesuai dengan konsep kimia dan bagian mana yang tidak boleh dipahami secara literal. Berikan satu pertanyaan untuk menguji apakah saya memahami batas analogi."

Prompt ini mengajarkan siswa bahwa analogi memiliki batas. Ini penting agar AI tidak memperkuat miskonsepsi.

Untuk contoh kontekstual, siswa dapat menggunakan prompt:

“Berikan contoh [konsep kimia] dalam kehidupan sehari-hari. Jelaskan konsep kimia yang terlibat, apa yang dapat diamati, apa yang terjadi pada level partikel, dan simbol atau persamaan yang relevan jika ada. Beri catatan jika ada bagian yang perlu diverifikasi.”

Prompt ini membantu siswa melihat hubungan antara konteks, partikel, dan simbol.

Dalam pendidikan calon guru, mahasiswa perlu dilatih membedakan ringkasan yang baik dan ringkasan yang dangkal. Ringkasan yang baik mempertahankan struktur konsep, hubungan antaride, istilah kunci, dan potensi miskonsepsi. Ringkasan dangkal hanya memotong teks menjadi kalimat pendek. Mahasiswa dapat diminta membuat prompt ringkasan untuk satu topik, mengevaluasi hasil AI, lalu memperbaikinya. Proses ini melatih literasi AI sekaligus pedagogi kimia.

Mahasiswa calon guru juga perlu dilatih membuat dan mengevaluasi analogi. Mereka dapat diminta meminta AI membuat analogi untuk konsep tertentu, kemudian menilai: apakah analogi relevan? apakah pemetaan jelas? apakah batas analogi disebutkan? apakah ada risiko miskonsepsi? apakah analogi sesuai budaya dan pengalaman siswa? Dengan latihan ini, calon guru tidak hanya menerima analogi dari AI, tetapi menjadi kurator analogi.

Untuk contoh kontekstual, mahasiswa dapat dilatih membuat bank konteks lokal. Misalnya, topik asam-basa dikaitkan dengan makanan, sabun, obat maag, air hujan, atau tanah pertanian. Topik redoks dikaitkan dengan korosi, baterai, pemutih, dan metabolisme. Topik polimer dikaitkan dengan plastik, tekstil, karet, dan bioplastik. AI dapat membantu menghasilkan daftar awal, tetapi mahasiswa harus memverifikasi fakta dan menyesuaikan dengan lingkungan siswa. Produk seperti ini sangat sesuai dengan portofolio pembelajaran kimia berbasis AI yang diarahkan dalam mata kuliah.

Ringkasan, analogi, dan contoh kontekstual juga dapat dipadukan dalam satu prompt komprehensif. Misalnya:

“Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas XI. Buat bahan belajar singkat tentang larutan penyangga. Susun dalam tiga bagian:

1. ringkasan konsep inti maksimal 200 kata;
2. satu analogi sederhana beserta batas analoginya;
3. dua contoh kontekstual dalam kehidupan sehari-hari beserta penjelasan kimianya. Sertakan tiga pertanyaan cek pemahaman dan dua miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Prompt ini menghasilkan bahan belajar yang lebih lengkap, tetapi tetap terarah.

Namun, guru harus berhati-hati agar output AI tidak terlalu padat. Jika ringkasan, analogi, dan contoh diberikan sekaligus dalam jumlah banyak, siswa dapat mengalami beban kognitif. Guru perlu memilih bagian yang paling relevan. AI dapat menghasilkan banyak opsi, tetapi guru memilih dan menyusun sesuai alur pembelajaran. Dalam hal ini, AI berperan sebagai generator alternatif, bukan penentu final.

Prompt juga dapat meminta AI menyesuaikan ringkasan, analogi, dan contoh untuk **remedial dan pengayaan**. Misalnya:

"Buat dua versi bahan belajar tentang kesetimbangan kimia. Versi pertama untuk remedial siswa yang mengira reaksi berhenti pada setimbang; versi kedua untuk pengayaan siswa yang sudah memahami Kc dan Qc. Setiap versi harus memuat ringkasan, analogi terbatas, contoh kontekstual, dan pertanyaan pemahaman."

Prompt ini membantu guru melakukan diferensiasi.

Dalam pembelajaran berbasis AI, ringkasan, analogi, dan contoh kontekstual juga harus diarahkan untuk membangun **kemampuan berpikir**, bukan sekadar memudahkan hafalan. Ringkasan harus membantu siswa melihat struktur konsep. Analogi harus membantu siswa memetakan hubungan. Contoh kontekstual harus membantu siswa menerapkan konsep pada situasi nyata. Jika ketiganya hanya menjadi bahan hafalan baru, maka manfaat pedagogisnya berkurang.

Dengan demikian, prompt untuk membuat ringkasan, analogi, dan contoh kontekstual merupakan bagian penting dari prompt engineering dalam pembelajaran kimia. Ringkasan membantu menyusun inti konsep secara padat; analogi membantu menjembatani konsep abstrak dengan pengalaman yang dikenal; contoh kontekstual membantu menumbuhkan relevansi dan pembelajaran bermakna. Namun, ketiganya harus dirancang dengan prompt yang jelas, kontekstual, berbasis tujuan, dan disertai batasan. Guru kimia harus memvalidasi akurasi konsep, batas analogi, keamanan contoh, dan kesesuaian dengan jenjang peserta didik. Dengan penggunaan yang tepat, AI dapat membantu guru menghasilkan bahan pembelajaran yang lebih mudah dipahami, lebih relevan, lebih reflektif, dan lebih menarik tanpa mengorbankan kebenaran ilmiah.

Subbab berikutnya akan membahas **prompt untuk membuat pertanyaan pemantik dan skenario diskusi**. Pembahasan tersebut penting karena pembelajaran kimia yang baik tidak hanya menyajikan ringkasan atau penjelasan, tetapi juga menggerakkan rasa ingin tahu, dialog ilmiah, argumentasi, dan kemampuan peserta didik menghubungkan konsep dengan masalah nyata.

3.6 Prompt untuk Menyusun Skenario Diskusi dan Aktivitas Kelas

Skenario diskusi dan aktivitas kelas merupakan bagian penting dalam pembelajaran kimia karena pemahaman konsep kimia tidak cukup dibangun melalui ceramah, rangkuman, atau latihan soal individual. Kimia menuntut siswa berdialog dengan konsep, data, fenomena, representasi partikel, simbol, dan argumentasi ilmiah. Banyak konsep kimia bersifat abstrak sehingga siswa perlu diberi ruang untuk memprediksi, bertanya, membandingkan gagasan, menguji alasan, memperbaiki miskonsepsi, dan menyimpulkan berdasarkan bukti. Oleh karena itu, prompt AI untuk pembelajaran kimia harus mampu membantu guru menyusun skenario diskusi dan aktivitas kelas yang aktif, terarah, aman, dan selaras dengan tujuan pembelajaran.

Dalam konteks pembelajaran kimia, diskusi kelas bukan sekadar kegiatan tanya jawab bebas. Diskusi harus memiliki tujuan konseptual yang jelas. Misalnya, diskusi tentang larutan elektrolit harus diarahkan agar siswa memahami peran ion sebagai pembawa muatan, bukan elektron bebas

dalam larutan. Diskusi tentang kesetimbangan harus diarahkan agar siswa memahami bahwa reaksi maju dan balik tetap berlangsung dengan laju sama, bukan berhenti. Diskusi tentang asam-basa harus membantu siswa membedakan kekuatan asam dan konsentrasi. Jika diskusi tidak dirancang dengan baik, siswa dapat saling memperkuat miskonsepsi.

AI dapat membantu guru menyusun skenario diskusi kelas secara lebih cepat. Guru dapat meminta AI merancang pertanyaan pemantik, pembagian kelompok, alur diskusi, peran siswa, lembar aktivitas, prediksi jawaban siswa, miskonsepsi yang mungkin muncul, strategi klarifikasi guru, dan asesmen formatif. Namun, hasil AI harus tetap diperiksa karena AI dapat menghasilkan pertanyaan yang terlalu umum, tidak sesuai jenjang, atau kurang akurat secara kimia. Prompt yang baik harus menyebut topik, jenjang, tujuan, model pembelajaran, durasi, jumlah siswa, bentuk aktivitas, serta konsep atau miskonsepsi yang perlu ditekankan.

3.6.1 Hakikat Skenario Diskusi dalam Pembelajaran Kimia

Skenario diskusi adalah rancangan alur interaksi kelas yang membantu siswa membangun pemahaman melalui pertanyaan, argumentasi, pertukaran gagasan, dan refleksi. Dalam pembelajaran kimia, skenario diskusi harus menghubungkan tiga level representasi: makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Siswa perlu diajak membahas apa yang terlihat, apa yang terjadi pada level partikel, dan bagaimana proses tersebut dinyatakan dengan rumus, persamaan, grafik, atau model.

Sebagai contoh, pada materi elektrolit, diskusi dapat dimulai dari fenomena makroskopik: mengapa lampu alat uji menyala terang pada larutan garam tetapi tidak menyala pada larutan gula. Diskusi kemudian diarahkan ke level submikroskopik: apa perbedaan partikel dalam larutan NaCl dan larutan gula. Setelah itu, diskusi bergerak ke level simbolik: bagaimana menuliskan disosiasi NaCl dalam air. Dengan alur seperti ini, diskusi tidak hanya menghasilkan jawaban verbal, tetapi membangun pemahaman representasional.

Diskusi kelas juga dapat digunakan untuk mengungkap miskonsepsi. Guru dapat menampilkan pernyataan problematik, misalnya “pada keadaan setimbang reaksi berhenti”, lalu meminta siswa menyatakan setuju atau tidak setuju disertai alasan. Dari jawaban siswa, guru dapat melihat bagaimana mereka memahami kesetimbangan. AI dapat membantu merancang skenario semacam ini dengan menyusun pertanyaan, prediksi jawaban, dan strategi klarifikasi.

Prompt dasar untuk skenario diskusi dapat berbunyi:

“Bertindaklah sebagai guru kimia SMA dan perancang diskusi kelas. Buat skenario diskusi 30 menit tentang [topik]. Skenario harus memuat tujuan pembelajaran, fenomena pemantik, pertanyaan diskusi bertahap, prediksi jawaban siswa, miskonsepsi yang mungkin muncul, strategi klarifikasi guru, aktivitas kelompok kecil, dan asesmen formatif akhir.”

Prompt ini dapat diadaptasi untuk berbagai topik kimia.

3.6.2 Prinsip Prompt untuk Skenario Diskusi Kimia

Prompt untuk menyusun skenario diskusi kimia harus mengikuti beberapa prinsip. Pertama, prompt harus menyebut **tujuan pembelajaran** secara spesifik. Jika tujuan tidak jelas, AI cenderung menghasilkan diskusi umum. Misalnya, "memahami elektrolit" masih terlalu luas. Lebih baik: "siswa mampu menjelaskan perbedaan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit berdasarkan jumlah ion bebas dalam larutan dan data daya hantar listrik."

Kedua, prompt harus menyebut **jenjang dan karakter peserta didik**. Diskusi untuk SMP, SMA, dan perguruan tinggi tentu berbeda. Untuk siswa SMA, bahasa harus lebih sederhana dan representasi partikel perlu eksplisit. Untuk mahasiswa, diskusi dapat mencakup data lebih kompleks, literatur, atau mekanisme yang lebih mendalam.

Ketiga, prompt perlu menyebut **fenomena atau stimulus awal**. Diskusi kimia akan lebih kuat jika dimulai dari fenomena: perubahan warna, endapan, gelembung gas, korosi, nyala lampu elektrolit, grafik titrasi, atau data praktikum. Stimulus membantu siswa mengaitkan konsep dengan bukti.

Keempat, prompt perlu menyebut **miskonsepsi target**. Ini penting agar diskusi tidak hanya berjalan di permukaan. Misalnya, pada materi gaya antarmolekul, miskonsepsi yang perlu ditargetkan adalah anggapan bahwa air mendidih karena ikatan kovalen O–H terputus. Pada elektrokimia, miskonsepsi target dapat berupa anggapan bahwa elektron bergerak melalui larutan atau jembatan garam.

Kelima, prompt harus meminta **pertanyaan bertahap**. Diskusi yang baik bergerak dari pertanyaan pengamatan, pertanyaan prediksi, pertanyaan alasan, pertanyaan bukti, sampai pertanyaan refleksi. AI perlu diarahkan agar tidak hanya membuat daftar pertanyaan acak.

Keenam, prompt perlu meminta **peran guru dan siswa**. Dalam skenario diskusi, guru bukan hanya pemberi jawaban, tetapi fasilitator yang mengarahkan, menantang alasan, dan meluruskan konsep. Siswa bukan hanya pendengar, tetapi pengamat, penanya, penjelas, pengkritik, dan penyimpul.

Contoh prompt yang lebih lengkap:

"Buat skenario diskusi kelas kimia SMA kelas XI tentang kesetimbangan dinamis. Tujuan: siswa mampu menjelaskan bahwa pada keadaan setimbang reaksi maju dan balik tetap berlangsung dengan laju sama. Durasi 35 menit. Gunakan stimulus grafik konsentrasi terhadap waktu. Target miskonsepsi: reaksi berhenti dan jumlah reaktan-produk harus sama. Susun alur diskusi dari observasi grafik, prediksi, diskusi kelompok, debat klaim, klarifikasi guru, hingga exit ticket. Sertakan prediksi jawaban siswa dan respons guru."

3.6.3 Prompt untuk Diskusi Berbasis Fenomena

Diskusi berbasis fenomena dimulai dari peristiwa kimia yang dapat diamati atau dibayangkan siswa. Pendekatan ini sangat efektif karena konsep kimia sering abstrak. Fenomena menjadi pintu masuk agar siswa merasa konsep memiliki makna. AI dapat membantu guru menyusun stimulus fenomena yang aman dan relevan.

Contoh prompt:

“Buat skenario diskusi berbasis fenomena untuk materi laju reaksi kelas XI. Gunakan fenomena tablet effervescent yang lebih cepat bereaksi dalam air hangat dan ketika dihancurkan. Diskusi harus mengarahkan siswa pada teori tumbukan, pengaruh suhu, dan luas permukaan. Sertakan pertanyaan pemantik, prediksi siswa, aktivitas kelompok, miskonsepsi yang mungkin muncul, dan asesmen formatif.”

Hasil yang diharapkan bukan hanya uraian teori, tetapi alur aktivitas. Misalnya, siswa diminta memprediksi kondisi mana yang paling cepat bereaksi, mendiskusikan alasan, menghubungkan dengan gerak partikel, lalu menyimpulkan. Guru kemudian menanyakan apakah reaksi lebih cepat karena “zat menjadi lebih kuat” atau karena frekuensi dan energi tumbukan efektif meningkat.

Contoh lain pada materi asam-basa:

“Buat skenario diskusi berbasis fenomena tentang perubahan warna indikator alami pada larutan asam dan basa untuk siswa SMA kelas XI. Gunakan konteks ekstrak bunga atau kol ungu. Skenario harus mengarahkan siswa membedakan asam, basa, indikator, pH secara kualitatif, serta keterbatasan indikator alami. Sertakan pertanyaan diskusi dan refleksi.”

Diskusi berbasis fenomena sebaiknya selalu ditutup dengan penguatan konsep ilmiah. Jika tidak, siswa dapat hanya menikmati fenomena tanpa memahami konsep.

3.6.4 Prompt untuk Diskusi Berbasis Miskonsepsi

Diskusi berbasis miskonsepsi bertujuan memunculkan dan memperbaiki pemahaman keliru. AI dapat membantu menyusun pernyataan kontroversial, pertanyaan konflik kognitif, dan strategi klarifikasi. Bentuk ini sangat penting dalam kimia karena banyak miskonsepsi kuat dan persisten.

Contoh prompt:

“Buat skenario diskusi kelas berbasis miskonsepsi tentang perubahan wujud air. Target miskonsepsi: saat air mendidih, ikatan O–H dalam molekul air terputus. Diskusi harus mengarahkan siswa membedakan ikatan kovalen dalam molekul dan gaya antarmolekul. Sertakan pernyataan pemantik, pertanyaan konflik kognitif, representasi partikel verbal, klarifikasi guru, dan exit ticket.”

Skenario yang baik dapat dimulai dengan pernyataan:

“Ketika air mendidih, molekul H_2O pecah menjadi H_2 dan O_2.”

Siswa diminta menyatakan setuju atau tidak setuju. Guru kemudian mengarahkan diskusi: jika air mendidih menghasilkan H_2 dan O_2, apakah zat hasilnya masih air? Mengapa uap air dapat mengembun kembali menjadi air? Apa yang berubah saat air cair menjadi uap? Diskusi ini membantu siswa memahami bahwa perubahan wujud terutama berkaitan dengan perubahan jarak dan interaksi antarmolekul, bukan pemutusan ikatan kovalen O–H.

Contoh prompt lain:

“Buat skenario diskusi berbasis miskonsepsi tentang katalis dan kesetimbangan. Target miskonsepsi: katalis menggeser kesetimbangan ke arah produk. Skenario harus menggunakan diagram energi sederhana dan perbandingan laju reaksi maju-balik. Sertakan pertanyaan diskusi, prediksi jawaban siswa, dan klarifikasi.”

Diskusi berbasis miskonsepsi harus dilakukan dengan hati-hati. Guru tidak boleh mempermalukan siswa yang salah. Miskonsepsi harus diperlakukan sebagai bagian normal dari proses belajar.

3.6.5 Prompt untuk Diskusi Berbasis Data

Diskusi berbasis data melatih siswa menggunakan bukti. Dalam kimia, data dapat berupa tabel, grafik, hasil praktikum, pengamatan, atau data simulatif. AI dapat membantu membuat data latihan yang realistis, tetapi jika data bukan hasil eksperimen nyata harus diberi keterangan sebagai data simulatif atau data latihan.

Contoh prompt:

“Buat skenario diskusi berbasis data untuk materi faktor-faktor yang memengaruhi laju reaksi. Sajikan tabel data simulatif waktu reaksi pada variasi suhu dan luas permukaan. Siswa diminta menganalisis pola, membuat klaim, menggunakan bukti, dan menjelaskan dengan teori tumbukan. Sertakan pertanyaan kelompok, rubrik singkat argumentasi, dan kesimpulan guru.”

Diskusi berbasis data dapat mengikuti struktur klaim-bukti-alasan. Siswa tidak hanya menjawab “suhu mempercepat reaksi”, tetapi harus menunjukkan data mana yang mendukung dan menjelaskan mengapa secara teori tumbukan.

Contoh pada materi elektrolit:

“Buat skenario diskusi berbasis data uji daya hantar larutan. Data mencakup nyala lampu terang, redup, dan tidak menyala pada beberapa larutan. Siswa harus mengklasifikasikan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit, lalu menjelaskan pada level partikel. Sertakan pertanyaan dan umpan balik guru.”

Diskusi berbasis data sangat bermanfaat untuk membangun literasi sains karena siswa belajar bahwa kesimpulan kimia harus didukung bukti.

3.6.6 Prompt untuk Diskusi Berbasis Argumentasi Ilmiah

Argumentasi ilmiah merupakan kemampuan menyampaikan klaim yang didukung bukti dan alasan. AI dapat membantu guru merancang aktivitas diskusi yang menggunakan struktur klaim-bukti-alasan. Dalam kimia, argumentasi sangat penting karena siswa perlu menjelaskan hubungan antara data, konsep, dan kesimpulan.

Contoh prompt:

“Rancang skenario diskusi argumentasi ilmiah tentang korosi besi untuk siswa SMA kelas XII. Siswa diberi data pengamatan paku pada kondisi kering, air biasa, dan air garam. Mereka harus membuat klaim tentang kondisi yang mempercepat korosi, menggunakan bukti dari data, dan menjelaskan dengan konsep redoks. Sertakan alur diskusi, peran kelompok, pertanyaan guru, rubrik argumentasi, dan refleksi.”

Dalam skenario ini, setiap kelompok dapat membuat klaim. Kelompok lain menanggapi dengan pertanyaan: “Data mana yang mendukung klaim Anda?”, “Bagaimana konsep redoks menjelaskan hasil tersebut?”, “Apakah ada sumber kesalahan?” Guru mengarahkan agar diskusi tidak menjadi opini bebas, melainkan argumentasi berbasis bukti.

Contoh prompt lain:

“Buat aktivitas diskusi klaim-bukti-alasan tentang larutan penyangga. Siswa diberi data perubahan pH setelah penambahan sedikit asam dan basa pada dua larutan. Mereka harus menentukan larutan mana yang merupakan buffer dan menjelaskan alasannya. Sertakan kunci konsep dan miskonsepsi yang mungkin muncul.”

Diskusi argumentatif memperkuat kemampuan berpikir ilmiah dan komunikasi kimia.

3.6.7 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Kelompok

Aktivitas kelompok memungkinkan siswa belajar melalui interaksi sosial. Namun, kerja kelompok harus dirancang dengan peran dan tugas yang jelas. Jika tidak, hanya sebagian siswa yang aktif. AI dapat membantu menyusun pembagian peran, lembar aktivitas, aturan diskusi, dan mekanisme pelaporan.

Contoh prompt:

“Buat aktivitas kelompok 4 orang untuk materi bentuk molekul dan polaritas kelas X. Setiap anggota memiliki peran: pembaca soal, pembuat model, penjelas konsep, dan pemeriksa jawaban. Aktivitas harus meminta siswa menentukan struktur Lewis sederhana, bentuk molekul, polaritas, dan alasan. Sertakan lembar kerja, pertanyaan diskusi, dan rubrik kerja kelompok.”

Peran kelompok membantu pemerataan partisipasi. Untuk materi kimia, peran dapat disesuaikan: analis data, penggambar partikel, penulis persamaan, penguji alasan, penyaji, atau penanya kritis.

Prompt lain:

“Rancang aktivitas jigsaw untuk materi gaya antarmolekul. Kelompok ahli membahas gaya London, dipol-dipol, dan ikatan hidrogen. Setelah itu siswa kembali ke kelompok asal untuk membandingkan pengaruh gaya antarmolekul terhadap titik didih. Sertakan instruksi, tabel perbandingan, pertanyaan diskusi, dan asesmen formatif.”

Aktivitas jigsaw cocok untuk materi yang memiliki beberapa subkonsep sejajar. Guru perlu memastikan setiap kelompok ahli mendapat sumber yang benar.

3.6.8 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Simulasi

Simulasi membantu siswa memahami proses dinamis pada level partikel. AI dapat membantu guru menyusun skenario aktivitas berbasis simulasi, meskipun AI tidak selalu membuat simulasi teknis. Guru dapat meminta AI membuat panduan penggunaan simulasi, pertanyaan observasi, tabel data, dan refleksi.

Contoh prompt:

"Buat skenario aktivitas kelas berbasis simulasi untuk materi kesetimbangan kimia. Simulasi menampilkan reaksi maju dan balik serta grafik konsentrasi terhadap waktu. Siswa harus mengubah konsentrasi reaktan, mengamati perubahan, mencatat data, dan menjelaskan respons sistem. Sertakan instruksi, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, miskonsepsi yang perlu dicegah, dan exit ticket."

Aktivitas berbasis simulasi harus menghindari siswa hanya bermain tanpa analisis. Oleh karena itu, prompt harus meminta tabel pengamatan dan pertanyaan analisis.

Contoh prompt pada gas:

"Buat aktivitas kelas berbasis simulasi teori kinetik gas. Siswa mengubah suhu, volume, dan jumlah partikel, lalu mengamati tekanan relatif dan gerak partikel. Aktivitas harus menghubungkan observasi simulasi dengan hukum gas secara konseptual. Sertakan pertanyaan prediksi, observasi, analisis, dan refleksi batas simulasi."

Refleksi batas simulasi penting agar siswa tidak memahami model secara literal.

3.6.9 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Praktikum Mini

Praktikum mini adalah aktivitas singkat yang dapat dilakukan di kelas atau laboratorium dengan bahan aman. AI dapat membantu menyusun aktivitas, tetapi semua prosedur harus diverifikasi guru/laboran. Prompt harus secara eksplisit menyebut keamanan, bahan sederhana, dan larangan bahan berbahaya.

Contoh prompt:

"Buat aktivitas praktikum mini yang aman untuk materi asam-basa menggunakan indikator alami. Aktivitas ditujukan untuk siswa SMA kelas XI, durasi 40 menit. Gunakan bahan aman dan larutan rumah tangga yang tidak berbahaya. Sertakan tujuan, alat-bahan, K3, prosedur, tabel pengamatan, pertanyaan diskusi, dan refleksi. Jangan menyarankan pencampuran bahan pembersih berbahaya."

Prompt ini penting karena AI bisa saja menyarankan bahan yang tidak aman jika tidak dibatasi.

Contoh prompt elektrolit:

“Buat aktivitas praktikum mini uji elektrolit menggunakan baterai tegangan rendah. Sertakan K3, alat sederhana, larangan menggunakan sumber listrik PLN, tabel data nyala lampu, pertanyaan analisis tentang ion, dan asesmen formatif.”

Aktivitas praktikum mini harus memiliki tujuan yang jelas. Guru perlu memastikan alat-bahan tersedia dan prosedur aman.

3.6.10 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Masalah

Aktivitas berbasis masalah atau problem-based learning menempatkan siswa pada situasi yang membutuhkan penyelesaian menggunakan konsep kimia. AI dapat membantu membuat skenario masalah, informasi pendukung, pertanyaan investigasi, dan rubrik.

Contoh prompt:

“Buat aktivitas kelas berbasis masalah tentang korosi pada pagar besi di daerah pesisir untuk siswa SMA kelas XII. Aktivitas harus mengarahkan siswa menggunakan konsep redoks, faktor lingkungan, dan metode pencegahan korosi. Sertakan skenario masalah, data sederhana, pertanyaan kelompok, produk akhir berupa rekomendasi, rubrik, dan refleksi.”

Masalah harus cukup terbuka, tetapi tetap terarah. Siswa perlu menggunakan konsep, bukan sekadar memberi opini. Guru dapat memberi data pengamatan atau artikel pendek.

Contoh pada polimer:

“Buat aktivitas problem-based learning tentang penggunaan plastik sekali pakai. Siswa harus menganalisis konsep polimer, sifat bahan, dampak lingkungan, dan solusi realistis. Aktivitas harus menghindari klaim berlebihan bahwa semua bioplastik pasti ramah lingkungan. Sertakan alur diskusi dan asesmen argumentasi.”

Aktivitas berbasis masalah sangat cocok untuk mengembangkan literasi sains dan keterampilan berpikir kritis.

3.6.11 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis *Think-Pair-Share*

Think-Pair-Share adalah strategi sederhana tetapi efektif. Siswa berpikir sendiri, berdiskusi berpasangan, lalu berbagi ke kelas. AI dapat membantu menyusun pertanyaan yang cocok untuk strategi ini.

Contoh prompt:

“Buat aktivitas Think-Pair-Share untuk materi asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer. Siswa diberi kasus HCl encer dan CH_3COOH pekat. Susun pertanyaan tahap Think, Pair, dan Share. Target miskonsepsi: asam kuat selalu pekat dan asam lemah selalu encer. Sertakan klarifikasi guru.”

Tahap Think dapat berupa pertanyaan individual: “Manakah yang termasuk asam kuat? Apakah berarti pH-nya selalu lebih rendah?” Tahap Pair meminta siswa membandingkan alasan. Tahap Share meminta beberapa pasangan mempresentasikan. Guru mengklarifikasi perbedaan kekuatan asam dan konsentrasi.

Strategi ini cocok untuk membangun partisipasi karena siswa memiliki waktu berpikir sebelum bicara.

3.6.12 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Debat Ilmiah

Debat ilmiah dapat digunakan untuk topik kimia yang memiliki dimensi aplikasi, teknologi, lingkungan, atau sosial. Namun, debat harus berbasis bukti, bukan sekadar opini. AI dapat membantu merancang format debat, peran kelompok, data pendukung, aturan, dan rubrik.

Contoh prompt:

“Rancang aktivitas debat ilmiah tentang baterai kendaraan listrik untuk siswa SMA kelas XII. Fokus pada konsep elektrokimia, manfaat energi, tantangan daur ulang, dan dampak lingkungan. Sediakan peran kelompok pro, kontra, dan panel ilmiah. Sertakan aturan debat berbasis bukti, pertanyaan pemandu, dan rubrik argumentasi. Hindari klaim teknis berlebihan.”

Debat kimia perlu memperhatikan akurasi informasi. Guru harus menyediakan sumber atau data yang valid agar siswa tidak bergantung pada opini internet. Jika AI digunakan untuk menyiapkan materi debat, siswa harus diminta memverifikasi.

Contoh prompt lain:

“Buat aktivitas debat tentang plastik biodegradable. Siswa harus mengevaluasi klaim ‘bioplastik selalu ramah lingkungan’. Sertakan konsep polimer, biodegradasi, kondisi lingkungan, data sederhana, dan rubrik.”

Debat membantu siswa melihat bahwa kimia berhubungan dengan keputusan masyarakat dan etika teknologi.

3.6.13 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Permainan Edukatif

Permainan edukatif dapat meningkatkan keterlibatan siswa jika tetap berorientasi konsep. AI dapat membantu membuat kartu konsep, aturan permainan, tantangan, kuis tim, atau misi kelas. Namun, permainan tidak boleh mengubah pembelajaran menjadi hiburan tanpa pemahaman.

Contoh prompt:

“Buat permainan kartu edukatif untuk materi ikatan kimia kelas X. Kartu mencakup jenis ikatan, contoh zat, sifat zat, dan representasi partikel. Siswa harus mencocokkan kartu dan menjelaskan alasannya. Sertakan aturan permainan, kartu contoh, kunci guru, miskonsepsi yang perlu dibahas, dan asesmen refleksi.”

Permainan ini menuntut siswa tidak hanya mencocokkan, tetapi juga menjelaskan alasan. Guru dapat menanyakan: “Mengapa NaCl memiliki titik leleh tinggi?”, “Mengapa logam menghantarkan listrik?”, “Mengapa molekul kovalen tertentu tidak menghantarkan listrik?”

Prompt lain:

“Buat game misi bertingkat tentang bentuk molekul dan polaritas. Misi 1 menentukan jumlah domain elektron, misi 2 menentukan bentuk molekul, misi 3 menentukan polaritas, misi 4 menjelaskan sifat zat. Sertakan soal, kunci, dan rubrik.”

Permainan bertingkat dapat membantu diferensiasi karena siswa yang cepat dapat melanjutkan ke misi lebih sulit.

3.6.14 Prompt untuk Aktivitas Kelas Berbasis Studi Kasus

Studi kasus membantu siswa menerapkan kimia dalam konteks nyata. AI dapat membantu membuat narasi kasus, data, pertanyaan analisis, dan rubrik. Studi kasus cocok untuk topik seperti kualitas air, korosi, pencemaran, baterai, pangan, kosmetik, pupuk, dan bahan pembersih.

Contoh prompt:

“Buat studi kasus kelas tentang kualitas air sederhana untuk siswa SMA. Kasus harus memuat data pH, bau, warna, dan kekeruhan secara kualitatif. Siswa diminta menganalisis kemungkinan sifat asam-basa, keterbatasan data, dan rekomendasi pemeriksaan lanjutan. Hindari klaim kesehatan yang tidak dapat dibuktikan. Sertakan pertanyaan diskusi dan rubrik.”

Studi kasus harus mengajarkan kehati-hatian ilmiah. Siswa tidak boleh membuat kesimpulan melebihi data. Jika data hanya pH dan kekeruhan, siswa tidak boleh menyimpulkan air aman diminum tanpa uji lain.

Contoh prompt pada bahan kimia rumah tangga:

“Buat studi kasus tentang penggunaan bahan pembersih rumah tangga secara aman. Fokus pada konsep asam-basa dan bahaya mencampur bahan tanpa pengetahuan. Sertakan skenario, pertanyaan diskusi, pesan keselamatan, dan asesmen literasi kimia.”

Studi kasus seperti ini menghubungkan kimia dengan keselamatan kehidupan sehari-hari.

3.6.15 Struktur Umum Prompt Skenario Diskusi dan Aktivitas Kelas

Agar prompt menghasilkan skenario yang baik, guru dapat menggunakan struktur berikut:

1. **Peran AI**
   “Bertindaklah sebagai guru kimia SMA dan perancang pembelajaran aktif.”
2. **Topik dan jenjang**
   “Topik: kesetimbangan kimia, kelas XI.”

3. **Tujuan pembelajaran**
   "Siswa mampu menjelaskan kesetimbangan dinamis dan membedakan konsentrasi konstan dari reaksi berhenti."
4. **Durasi dan bentuk kelas**
   "Durasi 45 menit, kelas 32 siswa, kelompok 4 orang."
5. **Model aktivitas**
   "Gunakan diskusi berbasis data dan argumentasi klaim-bukti-alasan."
6. **Stimulus**
   "Gunakan grafik konsentrasi terhadap waktu."
7. **Miskonsepsi target**
   "Reaksi berhenti; jumlah reaktan dan produk harus sama."
8. **Output yang diminta**
   "Tuliskan alur menit demi menit, pertanyaan guru, aktivitas siswa, prediksi jawaban siswa, respons guru, asesmen formatif, dan refleksi."

Template prompt:

"Bertindaklah sebagai [peran]. Rancang [jenis aktivitas/diskusi] untuk topik [topik] pada jenjang [jenjang]. Tujuan pembelajaran: [tujuan]. Durasi: [durasi]. Jumlah siswa: [jumlah]. Gunakan stimulus [fenomena/data/grafik/gambar/kasus]. Target miskonsepsi: [miskonsepsi]. Susun alur kegiatan dari pembukaan, eksplorasi, diskusi kelompok, diskusi kelas, klarifikasi konsep, asesmen formatif, hingga refleksi. Sertakan pertanyaan guru, prediksi jawaban siswa, strategi respons guru, media yang diperlukan, dan catatan keselamatan jika relevan."

Template ini dapat digunakan berulang untuk berbagai topik.

3.6.16 Contoh Prompt Lengkap: Diskusi Elektrolit

Contoh prompt lengkap:

"Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas X dan perancang pembelajaran aktif. Rancang skenario diskusi kelas 45 menit tentang larutan elektrolit dan nonelektrolit. Tujuan pembelajaran: siswa mampu menjelaskan perbedaan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit berdasarkan jumlah ion bebas dalam larutan serta data daya hantar listrik. Gunakan stimulus data uji daya hantar larutan NaCl, CH_3COOH, gula, dan air. Target miskonsepsi: semua zat yang larut menghantarkan listrik; elektron bergerak dalam larutan; elektrolit lemah berarti larutannya sedikit. Susun alur kegiatan pembukaan, prediksi individu, diskusi kelompok, analisis data, representasi partikel, klarifikasi guru, exit ticket, dan tindak lanjut. Sertakan pertanyaan diskusi, prediksi jawaban siswa, respons guru, dan asesmen formatif."

Dari prompt ini, AI diharapkan menghasilkan skenario yang mencakup prediksi, diskusi data, gambar partikel, dan exit ticket. Guru kemudian memeriksa apakah istilah elektrolit kuat, lemah, dan nonelektrolit digunakan dengan benar.

3.6.17 Contoh Prompt Lengkap: Diskusi Kesetimbangan

Contoh prompt lengkap:

“Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas XI. Rancang skenario diskusi argumentatif 45 menit tentang kesetimbangan dinamis. Tujuan: siswa mampu menjelaskan bahwa pada keadaan setimbang reaksi maju dan balik tetap berlangsung dengan laju yang sama. Gunakan stimulus grafik konsentrasi reaktan dan produk terhadap waktu. Target miskonsepsi: reaksi berhenti pada setimbang; konsentrasi reaktan dan produk harus sama; katalis mengubah nilai K. Aktivitas menggunakan Think-Pair-Share dan diskusi klaim-bukti-alasan. Sertakan pertanyaan bertahap, prediksi jawaban siswa, respons guru, analogi terbatas, batas analogi, dan exit ticket.”

Prompt ini mengarahkan AI menyusun diskusi yang tidak hanya menjelaskan teori, tetapi menguji klaim dan miskonsepsi.

3.6.18 Evaluasi Skenario Diskusi Buatan AI

Skenario diskusi yang dibuat AI harus dievaluasi sebelum digunakan. Guru perlu memeriksa beberapa aspek. Pertama, apakah tujuan pembelajaran jelas? Kedua, apakah pertanyaan diskusi benar-benar mengarah pada konsep inti? Ketiga, apakah stimulus relevan? Keempat, apakah miskonsepsi diantisipasi? Kelima, apakah alur kegiatan realistis dalam waktu yang tersedia? Keenam, apakah aktivitas membuat siswa aktif? Ketujuh, apakah klarifikasi guru benar secara kimia? Kedelapan, apakah asesmen formatif sesuai tujuan?

Daftar cek evaluasi:

1. Apakah konsep kimia akurat?
2. Apakah pertanyaan tidak ambigu?
3. Apakah diskusi menghubungkan makro-submikro-simbolik?
4. Apakah ada prediksi jawaban siswa?
5. Apakah ada strategi meluruskan miskonsepsi?
6. Apakah aktivitas sesuai jenjang?
7. Apakah durasi realistis?
8. Apakah semua siswa memiliki peran?
9. Apakah ada asesmen formatif?
10. Apakah keselamatan diperhatikan jika ada aktivitas eksperimen?

Jika skenario belum memenuhi kriteria, guru dapat meminta AI merevisi dengan prompt lanjutan:

“Revisi skenario di atas agar lebih menekankan representasi partikel dan miskonsepsi elektron dalam larutan. Kurangi aktivitas yang terlalu panjang agar sesuai durasi 45 menit.”

Iterasi prompt sangat penting agar hasil AI semakin sesuai kebutuhan pembelajaran.

3.6.19 Implikasi bagi Guru Kimia

Kemampuan menyusun prompt untuk skenario diskusi dan aktivitas kelas merupakan kompetensi penting bagi guru kimia. Dengan prompt yang baik, AI dapat membantu mempercepat rancangan

pembelajaran aktif. Guru tidak perlu memulai dari halaman kosong. AI dapat memberi ide alur, pertanyaan, aktivitas, dan asesmen. Namun, guru tetap bertanggung jawab memastikan akurasi konsep, kesesuaian konteks, dan kelayakan implementasi.

Guru kimia perlu membiasakan diri membuat prompt yang memuat tujuan, stimulus, miskonsepsi, representasi, aktivitas siswa, dan asesmen. Guru juga perlu melakukan evaluasi dan revisi. Hasil AI sebaiknya diperlakukan sebagai draf awal, bukan rancangan final. Guru perlu menyesuaikannya dengan karakter kelas, waktu, fasilitas, dan budaya belajar siswa.

Dalam pembelajaran kimia, skenario diskusi yang baik dapat mengubah kelas dari sekadar tempat menerima informasi menjadi ruang berpikir ilmiah. Siswa belajar mengamati fenomena, menyatakan prediksi, memberi alasan, menggunakan data, menanggapi gagasan teman, memperbaiki miskonsepsi, dan menyimpulkan. AI dapat membantu merancang ruang tersebut, tetapi kualitas akhirnya tetap bergantung pada kepekaan pedagogis guru.

Dengan demikian, prompt untuk menyusun skenario diskusi dan aktivitas kelas memiliki peran strategis dalam pembelajaran kimia berbantuan AI. Prompt yang baik harus spesifik, berorientasi tujuan, berbasis fenomena atau data, mengantisipasi miskonsepsi, menghubungkan representasi kimia, dan menghasilkan alur aktivitas yang realistis. AI dapat menjadi mitra produktif dalam merancang diskusi, tetapi guru tetap menjadi pengarah, validator, dan fasilitator utama agar aktivitas kelas benar-benar membangun pemahaman kimia yang bermakna.

3.7 Prompt untuk Mengembangkan Bahan Ajar, Modul, dan LKPD

Pengembangan bahan ajar, modul, dan LKPD merupakan salah satu penggunaan AI yang paling produktif dalam pembelajaran kimia. Guru dapat memanfaatkan AI untuk menyusun kerangka materi, merancang aktivitas belajar, membuat pertanyaan pemantik, menyusun contoh soal, menyiapkan latihan bertahap, membuat rangkuman, menyusun glosarium, menambahkan asesmen formatif, serta membuat variasi bahan remedial dan pengayaan. Namun, penggunaan AI dalam pengembangan bahan ajar tidak boleh dilakukan secara mekanis. Bahan ajar kimia harus tetap akurat secara konsep, sesuai jenjang, selaras dengan tujuan pembelajaran, memperhatikan miskonsepsi, menghubungkan representasi kimia, dan aman jika memuat aktivitas praktikum.

Dalam pembelajaran kimia, bahan ajar tidak cukup berupa teks penjelasan. Bahan ajar yang baik harus membantu siswa memahami hubungan antara fenomena makroskopik, proses submikroskopik, dan simbol kimia. Misalnya, saat mempelajari elektrolit, siswa perlu memahami gejala nyala lampu pada alat uji, keberadaan ion dalam larutan, serta persamaan disosiasi atau ionisasi. Saat mempelajari kesetimbangan, siswa perlu memahami perubahan konsentrasi, reaksi maju-balik pada level partikel, dan bentuk matematis tetapan kesetimbangan. Oleh karena itu, prompt untuk mengembangkan bahan ajar kimia harus meminta AI menyusun materi secara representasional, bukan sekadar narasi panjang.

Modul dan LKPD juga memiliki karakter berbeda. Modul biasanya berfungsi sebagai bahan belajar yang relatif lengkap, sistematis, dan dapat digunakan siswa secara mandiri atau terbimbing. Modul memuat tujuan, peta konsep, uraian materi, contoh, latihan, rangkuman, refleksi, dan asesmen. LKPD lebih berorientasi pada aktivitas siswa. LKPD harus mengarahkan siswa

melakukan pengamatan, prediksi, diskusi, eksperimen, analisis data, pemecahan masalah, atau refleksi. Karena itu, prompt untuk membuat modul berbeda dari prompt untuk membuat LKPD. Prompt yang baik harus menyebut jenis produk yang diinginkan, bukan hanya "buat bahan ajar".

3.7.1 Hakikat Bahan Ajar Kimia Berbantuan AI

Bahan ajar kimia berbantuan AI adalah bahan pembelajaran yang proses perancangannya dibantu oleh sistem kecerdasan buatan, tetapi tetap dikendalikan, divalidasi, dan disesuaikan oleh guru. AI dapat membantu menghasilkan draf, variasi penjelasan, aktivitas, soal, atau media. Akan tetapi, guru tetap menentukan tujuan, struktur, kedalaman materi, akurasi konsep, urutan pedagogis, dan kelayakan implementasi. Dengan demikian, bahan ajar berbantuan AI bukan produk otomatis, melainkan hasil kolaborasi antara kecerdasan mesin dan keahlian pedagogis manusia.

Dalam kimia, bahan ajar harus memenuhi beberapa syarat. Pertama, **akurat secara ilmiah**. Istilah seperti atom, molekul, ion, orbital, ikatan, kesetimbangan, katalis, elektrolit, asam kuat, asam lemah, dan pH harus digunakan secara tepat. Kedua, **sesuai jenjang**. Penjelasan untuk siswa SMA tidak boleh terlalu teknis seperti penjelasan perguruan tinggi, tetapi juga tidak boleh terlalu disederhanakan hingga salah konsep. Ketiga, **berbasis representasi kimia**. Bahan ajar perlu mengaitkan fenomena, partikel, simbol, grafik, dan data.

Keempat, bahan ajar harus **mengantisipasi miskonsepsi**. Banyak konsep kimia rentan disalahpahami. Misalnya, siswa dapat mengira reaksi berhenti pada kesetimbangan, asam kuat selalu pekat, larutan elektrolit menghantarkan listrik karena elektron bergerak dalam larutan, atau air mendidih karena ikatan O–H terputus. Prompt harus meminta AI memasukkan bagian "miskonsepsi yang perlu dihindari" atau "klarifikasi konsep". Kelima, bahan ajar harus **mendukung aktivitas belajar**, bukan hanya membaca. Siswa perlu diberi pertanyaan, latihan, tugas, diskusi, refleksi, dan asesmen formatif.

Contoh prompt dasar:

"Bertindaklah sebagai guru kimia SMA dan pengembang bahan ajar. Buat bahan ajar tentang [topik] untuk kelas [jenjang]. Bahan harus memuat tujuan pembelajaran, peta konsep, apersepsi kontekstual, uraian materi, hubungan makroskopik-submikroskopik-simbolik, contoh, latihan bertahap, miskonsepsi yang perlu dihindari, asesmen formatif, dan refleksi. Gunakan bahasa sesuai siswa SMA dan pastikan konsep kimia akurat."

Prompt ini lebih baik daripada perintah singkat "buat materi elektrolit" karena memberi struktur pedagogis dan kimiawi.

3.7.2 Prinsip Prompt untuk Mengembangkan Modul Kimia

Modul kimia adalah bahan ajar yang disusun secara sistematis agar siswa dapat belajar secara terarah. Prompt untuk membuat modul harus meminta struktur yang lengkap. Modul sebaiknya memuat judul, identitas, capaian pembelajaran, tujuan, prasyarat, peta konsep, apersepsi, uraian materi, aktivitas, contoh soal, latihan, asesmen formatif, rangkuman, refleksi, remedial,

pengayaan, dan daftar pustaka. Jika modul memuat aktivitas praktikum, bagian keselamatan harus ditulis jelas.

Prinsip pertama prompt modul adalah **menentukan topik dan batas materi**. Topik kimia sering luas. Misalnya, "asam-basa" dapat mencakup teori Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis, pH, titrasi, hidrolisis, dan buffer. Jika prompt tidak membatasi, AI dapat menghasilkan modul terlalu luas atau tidak fokus. Prompt sebaiknya menulis: "fokus pada perbedaan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer" atau "fokus pada konsep dasar larutan penyangga, bukan perhitungan kompleks".

Prinsip kedua adalah **menyebut prasyarat**. Modul kimia harus mengingatkan konsep yang diperlukan. Misalnya, modul larutan penyangga memerlukan prasyarat asam-basa, kesetimbangan, asam lemah, dan basa konjugasi. Prompt dapat berbunyi: "Sertakan bagian prasyarat konsep dan pertanyaan cek prasyarat."

Prinsip ketiga adalah **meminta alur bertahap**. Modul tidak boleh langsung masuk ke rumus. Misalnya, modul pH sebaiknya dimulai dari makna keasaman, konsentrasi ion H^+, skala pH, kemudian perhitungan. Modul kesetimbangan dimulai dari reaksi bolak-balik, laju reaksi maju-balik, konsentrasi konstan, lalu Kc.

Prinsip keempat adalah **meminta asesmen formatif**. Modul harus memberi kesempatan siswa memeriksa pemahaman. Prompt perlu meminta soal cek pemahaman setelah setiap subbagian. Prinsip kelima adalah **meminta validasi miskonsepsi**. Modul kimia harus memuat klarifikasi kesalahan umum.

Contoh prompt modul:

"Buat modul pembelajaran kimia SMA kelas XI tentang larutan penyangga. Fokus pada konsep dasar buffer asam dan buffer basa, mekanisme menahan perubahan pH, dan contoh kehidupan. Jangan masuk terlalu jauh ke perhitungan kompleks. Modul harus memuat tujuan, prasyarat, peta konsep, apersepsi, uraian materi bertahap, representasi partikel, persamaan kesetimbangan sederhana, contoh kontekstual, cek pemahaman, latihan, miskonsepsi umum, rangkuman, refleksi, remedial, dan pengayaan."

Prompt tersebut mengarahkan AI agar modul tidak hanya berupa paparan panjang, tetapi bahan belajar yang terstruktur.

3.7.3 Prompt untuk Membuat Struktur Modul Kimia

Sebelum meminta AI menulis modul lengkap, guru sebaiknya meminta struktur modul terlebih dahulu. Hal ini membantu mengontrol urutan, cakupan, dan kedalaman materi. Jika struktur belum tepat, guru dapat memperbaikinya sebelum isi dikembangkan. Pendekatan bertahap ini sesuai prinsip iterasi prompt.

Contoh prompt:

“Susun struktur modul kimia SMA kelas X tentang larutan elektrolit dan nonelektrolit. Struktur harus memuat bagian pembuka, tujuan pembelajaran, prasyarat, peta konsep, apersepsi, uraian materi, aktivitas sederhana, latihan, asesmen formatif, remedial, pengayaan, refleksi, dan rangkuman. Jangan menulis isi lengkap terlebih dahulu; cukup struktur rinci dan tujuan tiap bagian.”

Hasil yang diharapkan berupa kerangka seperti:

1. Identitas modul.
2. Tujuan pembelajaran.
3. Prasyarat konsep.
4. Apersepsi fenomena uji daya hantar.
5. Konsep ion dalam larutan.
6. Elektrolit kuat, lemah, dan nonelektrolit.
7. Representasi partikel.
8. Persamaan disosiasi dan ionisasi sederhana.
9. Aktivitas analisis data.
10. Latihan bertahap.
11. Miskonsepsi umum.
12. Asesmen formatif.
13. Remedial dan pengayaan.
14. Refleksi.
15. Rangkuman.

Setelah struktur disetujui, guru dapat memberi prompt lanjutan:

“Berdasarkan struktur tersebut, kembangkan bagian 1 sampai 4 terlebih dahulu dengan bahasa siswa SMA, tidak terlalu panjang, dan sertakan pertanyaan pemantik.”

Dengan cara ini, guru menghindari output yang terlalu panjang dan tidak terkontrol.

3.7.4 Prompt untuk Mengembangkan Uraian Materi Kimia

Uraian materi kimia perlu ditulis secara akurat, bertahap, dan mudah dipahami. Prompt untuk uraian materi harus meminta AI menjelaskan konsep dengan urutan yang logis, memberi contoh, menghindari miskonsepsi, dan mengaitkan representasi.

Contoh prompt:

“Kembangkan uraian materi tentang elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit untuk siswa SMA kelas X. Jelaskan berdasarkan jumlah ion bebas dalam larutan. Gunakan contoh NaCl, CH_3COOH, dan gula. Sertakan perbandingan makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Hindari miskonsepsi bahwa elektron bergerak dalam larutan. Gunakan bahasa sederhana tetapi ilmiah.”

Prompt ini memaksa AI memperhatikan konsep partikel dan miskonsepsi.

Untuk materi kesetimbangan:

“Kembangkan uraian materi tentang kesetimbangan dinamis untuk siswa SMA kelas XI. Mulailah dari reaksi bolak-balik, kemudian laju reaksi maju dan balik, lalu konsentrasi konstan. Jelaskan bahwa reaksi tidak berhenti. Sertakan contoh grafik konsentrasi terhadap waktu dan miskonsepsi umum.”

Untuk materi asam-basa:

“Kembangkan uraian materi tentang perbedaan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer. Gunakan contoh HCl encer dan CH_3COOH pekat. Jelaskan perbedaan kekuatan asam dan konsentrasi. Sertakan tabel perbandingan dan pertanyaan cek pemahaman.”

Uraian materi yang baik tidak harus panjang, tetapi harus konseptual dan jelas. Guru harus memeriksa istilah dan contoh yang dihasilkan AI.

3.7.5 Prompt untuk Mengembangkan LKPD Kimia

LKPD adalah lembar kerja yang mengarahkan siswa melakukan aktivitas belajar. LKPD berbeda dari modul. LKPD tidak boleh hanya berisi ringkasan materi dan soal. LKPD harus memuat kegiatan siswa: mengamati, memprediksi, mencoba, mengumpulkan data, berdiskusi, menganalisis, menyimpulkan, dan merefleksi.

Prompt untuk LKPD harus menyebut model aktivitas. Misalnya, LKPD berbasis inkuiri, problem-based learning, project-based learning, STEM, praktikum, simulasi, atau diskusi data. Prompt juga harus meminta komponen LKPD: identitas, tujuan, fenomena awal, alat-bahan jika ada, K3, langkah kerja, tabel data, pertanyaan analisis, kesimpulan, refleksi, dan asesmen.

Contoh prompt umum:

“Bertindaklah sebagai guru kimia dan pengembang LKPD. Buat LKPD berbasis inkuiri terbimbing tentang [topik] untuk siswa [jenjang]. LKPD harus memuat judul, tujuan, fenomena pemantik, pertanyaan prediksi, alat-bahan, K3, prosedur aman, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, hubungan makro-submikro-simbolik, kesimpulan berbasis data, refleksi, dan asesmen formatif. Gunakan bahasa instruksi yang jelas dan sesuai siswa.”

Contoh khusus elektrolit:

“Buat LKPD inkuiri terbimbing tentang uji daya hantar larutan elektrolit dan nonelektrolit untuk siswa SMA kelas X. Gunakan baterai tegangan rendah, bukan listrik PLN. Sertakan K3, prediksi larutan, tabel nyala lampu dan gelembung, pertanyaan analisis tentang ion, representasi partikel NaCl, CH_3COOH, gula, dan air, serta kesimpulan berbasis data.”

Prompt ini menekankan keselamatan dan konsep ion.

3.7.6 Prompt untuk LKPD Berbasis Praktikum

LKPD praktikum harus paling hati-hati karena menyangkut keselamatan. Prompt harus membatasi bahan, prosedur, dan risiko. Guru harus memverifikasi semua alat-bahan sebelum digunakan. AI tidak boleh menjadi sumber tunggal prosedur eksperimen.

Contoh prompt:

"Buat LKPD praktikum kimia yang aman untuk materi laju reaksi kelas XI. Fokus pada pengaruh luas permukaan terhadap laju reaksi menggunakan bahan yang aman dan mudah diperoleh di laboratorium sekolah. Sertakan tujuan, dasar teori singkat, variabel bebas-terikat-kontrol, alat-bahan, K3, prosedur langkah demi langkah, tabel data waktu reaksi, pertanyaan analisis teori tumbukan, sumber kesalahan, kesimpulan, dan refleksi. Jangan menggunakan bahan berbahaya atau prosedur yang menghasilkan gas beracun."

Prompt ini meminta variabel dan keselamatan. Jika AI menyarankan bahan yang kurang aman, guru harus mengganti.

Untuk titrasi:

"Buat LKPD praktikum titrasi asam-basa sederhana untuk siswa SMA kelas XI dengan larutan encer dan aman di bawah pengawasan guru. Sertakan tujuan, prinsip titrasi, alat-bahan, K3, prosedur, tabel volume titran, perhitungan konsentrasi, analisis titik akhir, sumber kesalahan, dan rubrik singkat."

LKPD praktikum harus memuat "jangan mencicipi bahan", "gunakan APD sesuai kebutuhan", "ikuti instruksi guru", dan "kelola limbah sesuai arahan".

3.7.7 Prompt untuk LKPD Berbasis Simulasi

Jika praktikum nyata tidak memungkinkan, guru dapat menggunakan simulasi atau virtual lab. LKPD simulasi tetap harus mengarahkan siswa berpikir, bukan hanya menjalankan simulasi. Prompt harus meminta prediksi, variabel yang diubah, data yang diamati, pertanyaan analisis, dan refleksi batas simulasi.

Contoh prompt:

"Buat LKPD berbasis simulasi untuk materi kesetimbangan kimia kelas XI. Simulasi memperlihatkan perubahan konsentrasi reaktan dan produk saat sistem diberi gangguan. LKPD harus memuat tujuan, prasyarat, instruksi penggunaan simulasi, prediksi sebelum mengubah variabel, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, hubungan dengan prinsip Le Chatelier, miskonsepsi yang perlu dihindari, refleksi batas simulasi, dan asesmen formatif."

Untuk bentuk molekul:

"Buat LKPD simulasi bentuk molekul menggunakan model VSEPR. Siswa mengamati CH_4, NH_3, H_2O, CO_2, dan BF_3. LKPD harus meminta siswa menentukan domain elektron, pasangan elektron bebas, bentuk molekul, polaritas, dan batas model. Sertakan pertanyaan cek pemahaman."

LKPD simulasi harus menegaskan bahwa simulasi adalah model, bukan realitas penuh.

3.7.8 Prompt untuk LKPD Berbasis Masalah

LKPD berbasis masalah meminta siswa menyelesaikan masalah kontekstual dengan konsep kimia. Prompt perlu menyebut skenario masalah, data pendukung, pertanyaan investigasi, produk akhir, dan rubrik.

Contoh prompt:

"Buat LKPD problem-based learning tentang korosi besi untuk siswa SMA kelas XII. Skenario: pagar besi di daerah pesisir lebih cepat berkarat. Siswa harus menganalisis penyebab korosi, menghubungkan dengan konsep redoks, mengevaluasi beberapa metode pencegahan, dan menyusun rekomendasi. LKPD harus memuat masalah awal, data sederhana, pertanyaan kelompok, aktivitas analisis, produk akhir, rubrik, dan refleksi."

Untuk plastik:

"Buat LKPD berbasis masalah tentang limbah plastik dan polimer untuk siswa SMA. LKPD harus mengarahkan siswa memahami struktur polimer, sifat bahan, tantangan daur ulang, dan solusi realistis. Hindari klaim bahwa semua bioplastik pasti ramah lingkungan. Sertakan studi kasus, pertanyaan analisis, dan refleksi."

LKPD berbasis masalah cocok untuk mengembangkan literasi sains, argumentasi, dan keputusan berbasis bukti.

3.7.9 Prompt untuk LKPD Berbasis Proyek

LKPD berbasis proyek memandu siswa menghasilkan produk tertentu. Produk dapat berupa poster, infografik, video, model, alat sederhana, laporan investigasi, atau kampanye edukatif. Prompt harus meminta tahapan proyek, jadwal, produk antara, produk akhir, rubrik, dan refleksi.

Contoh prompt:

"Buat LKPD proyek kimia tentang indikator alami asam-basa untuk siswa SMA kelas XI. Proyek berlangsung dua minggu. Siswa memilih bahan tumbuhan yang aman, membuat ekstrak indikator, menguji pada larutan aman, mencatat perubahan warna, membuat poster ilmiah, dan mempresentasikan hasil. LKPD harus memuat tujuan, skenario proyek, tahapan kerja, K3, tabel data, log aktivitas, rubrik produk, rubrik presentasi, aturan penggunaan AI, dan refleksi."

Untuk proyek media:

"Buat LKPD proyek pembuatan infografik tentang elektrolit dalam kehidupan sehari-hari. Produk akhir berupa infografik. LKPD harus memuat konsep wajib, sumber yang harus diverifikasi, kriteria visual, rubrik, log penggunaan AI, dan refleksi."

Dalam proyek berbantuan AI, prompt harus meminta aturan penggunaan AI agar siswa tidak menyalin mentah atau membuat data palsu.

3.7.10 Prompt untuk Mengembangkan Bahan Remedial

Bahan remedial berfungsi membantu siswa memperbaiki pemahaman yang belum tuntas. Prompt remedial harus menyebut miskonsepsi atau kesulitan spesifik. Remedial yang baik bukan mengulang materi yang sama, tetapi memberi jalur penjelasan alternatif.

Contoh prompt:

“Buat bahan remedial tentang larutan elektrolit untuk siswa yang mengira semua zat larut dalam air menghantarkan listrik. Jelaskan perbedaan larut sebagai ion dan larut sebagai molekul. Gunakan contoh NaCl dan gula. Sertakan gambar partikel dalam bentuk deskripsi verbal, tabel perbandingan, tiga soal penguatan, umpan balik, dan refleksi.”

Untuk stoikiometri:

“Buat bahan remedial stoikiometri untuk siswa yang salah menggunakan koefisien reaksi. Mulailah dari makna koefisien sebagai perbandingan mol. Sertakan contoh sederhana, latihan bertahap, kesalahan umum, dan umpan balik.”

Untuk kesetimbangan:

“Buat bahan remedial untuk siswa yang mengira reaksi berhenti pada keadaan setimbang. Gunakan penjelasan sederhana, analogi terbatas, grafik laju reaksi maju-balik, dan pertanyaan cek pemahaman.”

Prompt remedial harus menghindari bahasa yang merendahkan. Gunakan istilah “penguatan” atau “pemantapan konsep”.

3.7.11 Prompt untuk Mengembangkan Bahan Pengayaan

Bahan pengayaan diberikan kepada siswa yang sudah mencapai tujuan dasar dan siap memperluas pemahaman. Pengayaan tidak berarti memberi lebih banyak soal sejenis. Pengayaan harus memperdalam atau memperluas konsep melalui aplikasi, studi kasus, data, proyek, atau masalah terbuka.

Contoh prompt:

“Buat bahan pengayaan untuk siswa SMA kelas XII yang sudah memahami sel volta. Topik pengayaan: baterai lithium-ion secara konseptual. Jelaskan hubungan dengan redoks, aliran elektron, ion, dan tantangan daur ulang secara sederhana. Hindari detail teknis perguruan tinggi. Sertakan studi kasus, pertanyaan analisis, dan refleksi lingkungan.”

Untuk buffer:

“Buat bahan pengayaan tentang larutan penyangga dalam sistem biologis dan produk farmasi untuk siswa SMA kelas XI. Jelaskan secara konseptual, hindari detail biokimia terlalu kompleks, sertakan studi kasus, pertanyaan HOTS, dan refleksi etika.”

Untuk polimer:

“Buat bahan pengayaan tentang plastik biodegradable dan tantangan lingkungan. Jelaskan hubungan struktur polimer dengan sifat bahan secara sederhana. Hindari klaim berlebihan. Sertakan pertanyaan evaluasi klaim dan rubrik argumentasi.”

Prompt pengayaan harus menyebut batas kedalaman agar AI tidak terlalu teknis.

3.7.12 Prompt untuk Mengembangkan Handout Kimia

Handout lebih ringkas daripada modul. Handout biasanya digunakan sebagai pendamping pembelajaran di kelas. Prompt handout harus meminta materi inti, tabel, ilustrasi verbal, contoh, dan latihan singkat. Handout tidak perlu terlalu panjang.

Contoh prompt:

“Buat handout ringkas dua halaman tentang perbedaan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer untuk siswa SMA kelas XI. Handout harus memuat definisi, tabel perbandingan, contoh HCl dan CH_3COOH, miskonsepsi umum, dua contoh soal konseptual, dan tiga pertanyaan cek pemahaman. Gunakan bahasa sederhana dan akurat.”

Untuk redoks:

“Buat handout ringkas tentang oksidasi, reduksi, oksidator, reduktor, dan bilangan oksidasi. Sertakan tabel istilah, contoh reaksi sederhana, langkah menentukan bilangan oksidasi, kesalahan umum, dan latihan singkat.”

Handout sebaiknya digunakan untuk memperjelas inti materi, bukan menggantikan aktivitas kelas.

3.7.13 Prompt untuk Mengembangkan Peta Konsep

Peta konsep membantu siswa melihat hubungan antar konsep. AI dapat membantu membuat peta konsep tekstual yang kemudian dapat diubah guru menjadi visual. Prompt harus meminta hierarki konsep dan kata penghubung.

Contoh prompt:

“Buat peta konsep tekstual tentang larutan penyangga untuk siswa SMA. Peta konsep harus memuat konsep asam lemah, basa konjugasi, basa lemah, asam konjugasi, kesetimbangan, penambahan sedikit asam, penambahan sedikit basa, dan perubahan pH. Gunakan hubungan antar konsep dengan kata penghubung yang jelas.”

Hasil yang baik bukan hanya daftar istilah, tetapi hubungan:

- Larutan penyangga asam terdiri atas asam lemah dan basa konjugasinya.
- Basa konjugasi bereaksi dengan ion H^+ yang ditambahkan.
- Asam lemah bereaksi dengan OH^- yang ditambahkan.
- Kesetimbangan membantu menahan perubahan pH.

Peta konsep juga dapat digunakan sebagai asesmen. Prompt:

“Buat tugas peta konsep untuk siswa tentang elektrokimia. Sertakan daftar konsep wajib, kriteria penilaian, dan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

3.7.14 Prompt untuk Mengembangkan Glosarium Kimia

Glosarium membantu siswa memahami istilah. Dalam kimia, istilah sering memiliki makna khusus yang berbeda dari bahasa sehari-hari. AI dapat membantu membuat glosarium, tetapi definisi harus divalidasi.

Contoh prompt:

“Buat glosarium materi kesetimbangan kimia untuk siswa SMA kelas XI. Istilah minimal: reaksi bolak-balik, kesetimbangan dinamis, laju reaksi maju, laju reaksi balik, konsentrasi setimbang, Kc, Qc, pergeseran kesetimbangan, katalis, dan prinsip Le Chatelier. Definisi harus singkat, akurat, dan disertai contoh jika perlu. Sertakan miskonsepsi umum pada istilah ‘setimbang’.”

Untuk asam-basa:

“Buat glosarium asam-basa yang membedakan asam kuat, asam lemah, asam pekat, asam encer, basa kuat, basa lemah, pH, indikator, titrasi, titik akhir, dan titik ekuivalen. Gunakan bahasa siswa SMA.”

Glosarium dapat diletakkan di akhir modul atau handout.

3.7.15 Prompt untuk Mengembangkan Contoh Soal dan Latihan Bertahap

Bahan ajar kimia membutuhkan contoh soal dan latihan. AI dapat membantu membuat latihan bertahap dari mudah ke sulit. Prompt harus menyebut tingkat, jenis soal, dan kunci pembahasan.

Contoh prompt:

“Buat latihan bertahap tentang molaritas untuk siswa SMA kelas X. Susun tiga tingkat: dasar, menengah, dan lanjut. Tingkat dasar fokus pada rumus molaritas dengan angka sederhana. Tingkat menengah mencakup pengenceran. Tingkat lanjut berbasis data praktikum sederhana. Sertakan kunci, pembahasan, dan kesalahan umum.”

Untuk konsep:

“Buat latihan konseptual bertahap tentang kesetimbangan dinamis. Tingkat dasar berupa benar-salah beralasan, tingkat menengah berupa interpretasi grafik, tingkat lanjut berupa evaluasi klaim. Sertakan kunci dan umpan balik.”

Latihan bertahap membantu diferensiasi. Guru dapat memberi latihan sesuai kebutuhan siswa.

3.7.16 Prompt untuk Menambahkan Asesmen Formatif dalam Bahan Ajar

Setiap bahan ajar sebaiknya memuat asesmen formatif. AI dapat membantu menyisipkan pertanyaan setelah subbagian. Prompt dapat berbunyi:

“Tambahkan asesmen formatif pada modul elektrolit. Setelah setiap subbagian, buat dua pertanyaan cek pemahaman: satu konseptual dan satu aplikasi. Sertakan kunci singkat, miskonsepsi yang mungkin muncul, dan umpan balik.”

Atau:

“Buat exit ticket untuk akhir pembelajaran tentang laju reaksi. Exit ticket harus memuat satu pertanyaan konsep, satu pertanyaan berbasis data, dan satu refleksi kesulitan.”

Asesmen formatif tidak perlu panjang, tetapi harus memberi informasi kepada guru tentang pemahaman siswa.

3.7.17 Prompt untuk Validasi Bahan Ajar Buatan AI

Setelah AI membuat bahan ajar, guru perlu memvalidasi. AI juga dapat diminta membantu meninjau draf, tetapi validasi akhir tetap guru. Prompt validasi dapat membantu menemukan kelemahan awal.

Contoh prompt:

“Tinjau bahan ajar kimia berikut dari aspek akurasi konsep, kesesuaian jenjang, hubungan makro-submikro-simbolik, miskonsepsi yang mungkin muncul, kejelasan bahasa, kualitas aktivitas, asesmen formatif, dan keselamatan. Berikan saran revisi yang spesifik.”

Untuk LKPD:

“Tinjau LKPD praktikum berikut dari aspek tujuan, variabel, K3, prosedur, tabel data, pertanyaan analisis, kesimpulan berbasis data, dan kelayakan waktu. Identifikasi bagian yang perlu diperbaiki.”

Prompt validasi membantu guru melihat bagian yang mungkin luput. Namun, guru tetap harus membandingkan dengan sumber kimia yang valid.

3.7.18 Struktur Umum Prompt Bahan Ajar, Modul, dan LKPD

Template prompt bahan ajar:

“Bertindaklah sebagai guru kimia [jenjang] dan pengembang bahan ajar. Buat [jenis bahan: modul/handout/LKPD] tentang [topik]. Tujuan pembelajaran: [tujuan]. Batas materi: [batasan]. Prasyarat: [prasyarat]. Produk harus memuat [komponen]. Hubungkan konsep makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Sertakan contoh, latihan, asesmen formatif, miskonsepsi umum, refleksi, remedial, pengayaan, dan catatan keselamatan jika relevan. Gunakan bahasa [jenjang] dan pastikan konsep kimia akurat.”

Template prompt LKPD:

“Bertindaklah sebagai pengembang LKPD kimia. Buat LKPD [model: inkuiri/proyek/praktikum/simulasi/PBL] untuk topik [topik], jenjang [jenjang], durasi [durasi]. Tujuan: [tujuan]. LKPD harus memuat judul, tujuan, fenomena pemantik, prediksi, aktivitas siswa, alat-bahan jika ada, K3, prosedur, tabel data, pertanyaan analisis, hubungan representasi kimia, kesimpulan berbasis bukti, refleksi, asesmen formatif, dan rubrik singkat. Hindari prosedur berbahaya dan miskonsepsi [sebutkan].”

Template prompt validasi:

“Evaluasi draf [modul/LKPD/handout] berikut. Periksa akurasi kimia, kesesuaian tujuan, representasi kimia, miskonsepsi, bahasa, aktivitas, asesmen, keselamatan, dan kelayakan implementasi. Berikan revisi konkret.”

Dengan template ini, guru dapat menghasilkan bahan ajar yang lebih terarah.

3.7.19 Evaluasi Hasil AI dalam Pengembangan Bahan Ajar

Produk bahan ajar yang dibuat AI harus dievaluasi sebelum digunakan. Evaluasi pertama adalah **akurasi konsep**. Guru harus memeriksa definisi, contoh, persamaan reaksi, rumus, muatan ion, satuan, dan grafik. Evaluasi kedua adalah **kesesuaian tujuan**. Apakah bahan benar-benar mendukung tujuan pembelajaran? Evaluasi ketiga adalah **alur pedagogis**. Apakah materi disusun dari sederhana ke kompleks? Apakah prasyarat diaktifkan?

Evaluasi keempat adalah **representasi kimia**. Apakah bahan menghubungkan makroskopik, submikroskopik, dan simbolik? Evaluasi kelima adalah **miskonsepsi**. Apakah bahan menghindari penjelasan yang dapat menyesatkan? Evaluasi keenam adalah **bahasa**. Apakah bahasa sesuai jenjang? Evaluasi ketujuh adalah **aktivitas siswa**. Apakah bahan membuat siswa aktif? Evaluasi kedelapan adalah **keselamatan** jika ada praktikum. Evaluasi kesembilan adalah **asesmen formatif**. Apakah ada pertanyaan yang membantu memantau pemahaman? Evaluasi kesepuluh adalah **etika penggunaan AI** jika siswa diminta menggunakan AI.

Daftar cek sederhana:

1. Konsep kimia sudah benar.
2. Tujuan pembelajaran jelas.

3. Materi sesuai jenjang.
4. Alur dari prasyarat ke konsep inti.
5. Representasi kimia terhubung.
6. Miskonsepsi diantisipasi.
7. Aktivitas siswa jelas.
8. Latihan dan asesmen tersedia.
9. Keselamatan ditulis jika ada praktikum.
10. Bahan dapat digunakan dalam waktu yang tersedia.

Jika hasil AI belum memenuhi daftar cek, guru perlu merevisi prompt atau mengedit langsung.

Dengan demikian, prompt untuk mengembangkan bahan ajar, modul, dan LKPD memiliki peran penting dalam pembelajaran kimia berbantuan AI. Prompt yang baik harus spesifik, menyebut tujuan, jenjang, batas materi, struktur produk, representasi kimia, aktivitas siswa, asesmen, miskonsepsi, dan keselamatan. AI dapat membantu mempercepat penyusunan bahan ajar, tetapi guru tetap menjadi pengembang utama yang memvalidasi, menyunting, dan menyesuaikan dengan konteks kelas. Bahan ajar kimia berbantuan AI yang baik bukan sekadar panjang dan rapi, melainkan akurat, aktif, kontekstual, aman, reflektif, dan mendukung pemahaman kimia yang bermakna.

3.8 Prompt untuk Menyusun Soal, Rubrik, dan Umpan Balik Pembelajaran

Prompt untuk menyusun soal, rubrik, dan umpan balik pembelajaran merupakan bagian penting dalam pemanfaatan AI untuk pembelajaran kimia. Guru tidak hanya membutuhkan bahan ajar dan aktivitas kelas, tetapi juga instrumen untuk mengetahui apakah siswa memahami konsep, bagaimana kualitas jawaban mereka, jenis kesalahan apa yang muncul, dan tindak lanjut apa yang perlu diberikan. Dalam kimia, penyusunan soal, rubrik, dan umpan balik harus dilakukan secara hati-hati karena materi kimia memiliki karakter konseptual, simbolik, matematis, representasional, dan eksperimental. Soal yang tidak tepat dapat mengukur hafalan semata; rubrik yang tidak jelas dapat membuat penilaian subjektif; umpan balik yang keliru dapat memperkuat miskonsepsi.

AI dapat membantu guru membuat soal dalam berbagai bentuk, mulai dari pilihan ganda, uraian, soal diagnostik, soal HOTS, soal berbasis data, soal berbasis grafik, soal berbasis praktikum, hingga soal argumentasi ilmiah. AI juga dapat membantu menyusun rubrik analitik, rubrik holistik, rubrik praktikum, rubrik proyek, rubrik portofolio, dan rubrik presentasi. Selain itu, AI dapat digunakan untuk membuat umpan balik adaptif berdasarkan jenis kesalahan siswa. Namun, semua hasil AI harus divalidasi oleh guru karena AI dapat menghasilkan kunci jawaban yang salah, distraktor yang lemah, rubrik yang terlalu umum, atau umpan balik yang tidak akurat secara konsep kimia.

Dalam pembelajaran kimia, soal, rubrik, dan umpan balik harus saling terhubung. Soal mengungkap pemahaman siswa. Rubrik menjelaskan standar kualitas jawaban atau kinerja. Umpan balik membantu siswa memperbaiki pemahaman. Jika soal menuntut argumentasi ilmiah, rubrik harus menilai klaim, bukti, dan alasan. Jika soal menuntut analisis data praktikum, rubrik harus menilai penggunaan data, interpretasi, konsep kimia, dan kesimpulan. Jika siswa salah,

umpan balik harus menjelaskan letak kesalahan dan memberi arah perbaikan. Karena itu, prompt AI harus dirancang secara terpadu, bukan terpisah secara acak.

3.8.1 Hakikat Prompt Asesmen dalam Pembelajaran Kimia

Prompt asesmen adalah instruksi kepada AI untuk menghasilkan perangkat penilaian pembelajaran. Dalam konteks kimia, prompt asesmen harus lebih spesifik daripada sekadar "buatkan soal". Prompt yang terlalu umum akan menghasilkan soal umum, sering kali berbasis hafalan, dan belum tentu sesuai tujuan pembelajaran. Prompt yang baik harus memuat topik, jenjang, tujuan pembelajaran, indikator, bentuk soal, level kognitif, representasi kimia yang digunakan, miskonsepsi yang ditargetkan, jumlah soal, kunci, pembahasan, rubrik, dan umpan balik.

Misalnya, prompt "buatkan soal larutan elektrolit" terlalu luas. AI dapat menghasilkan soal definisi sederhana yang tidak cukup mengukur pemahaman. Prompt yang lebih baik adalah:

"Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas X dan ahli asesmen. Buat lima soal formatif tentang larutan elektrolit dan nonelektrolit. Soal harus mengukur kemampuan siswa menjelaskan perbedaan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit berdasarkan jumlah ion bebas dalam larutan dan data daya hantar listrik. Sertakan satu soal berbasis data, satu soal berbasis representasi partikel, satu soal miskonsepsi, satu soal uraian pendek, dan satu soal pilihan ganda beralasan. Sertakan kunci, pembahasan, miskonsepsi yang diuji, dan umpan balik untuk jawaban salah."

Prompt kedua jauh lebih terarah karena memuat tujuan, bentuk soal, representasi, dan umpan balik. AI tidak hanya diminta membuat soal, tetapi diminta membuat asesmen yang sesuai karakter kimia.

Prompt asesmen juga harus memperhatikan jenis asesmen. Soal diagnostik berbeda dari soal formatif dan sumatif. Soal diagnostik menargetkan miskonsepsi. Soal formatif memantau perkembangan pemahaman. Soal sumatif menilai capaian akhir. Prompt harus menyebut fungsi asesmen agar AI menghasilkan instrumen yang sesuai. Misalnya, soal diagnostik perlu disertai interpretasi jawaban, sedangkan soal sumatif perlu distribusi indikator dan tingkat kesulitan.

3.8.2 Prinsip Prompt untuk Menyusun Soal Kimia

Prinsip pertama adalah **keselarasan dengan tujuan pembelajaran**. Soal harus mengukur tujuan yang jelas. Jika tujuan pembelajaran adalah siswa mampu menafsirkan data praktikum elektrolit, maka soal harus memuat data pengamatan. Jika tujuan pembelajaran adalah siswa mampu menjelaskan kesetimbangan dinamis, soal harus menguji konsep reaksi maju-balik, laju sama, dan konsentrasi konstan, bukan hanya meminta rumus Kc.

Prinsip kedua adalah **ketepatan konsep kimia**. Prompt harus meminta kunci dan pembahasan agar guru dapat memeriksa kebenaran. AI kadang membuat jawaban salah, terutama pada topik perhitungan, elektrokimia, pH, kesetimbangan, atau termokimia. Dengan meminta pembahasan, kesalahan lebih mudah dideteksi.

Prinsip ketiga adalah **variasi representasi**. Kimia tidak boleh dinilai hanya melalui teks. Prompt perlu meminta soal yang menghubungkan fenomena, partikel, simbol, grafik, atau data. Misalnya, soal tentang pengendapan dapat meminta siswa menjelaskan endapan secara makroskopik, menulis ion yang bereaksi, dan menyusun persamaan ion bersih.

Prinsip keempat adalah **miskonsepsi sebagai target**. Soal kimia yang baik dapat mengungkap miskonsepsi. Prompt perlu menyebut miskonsepsi yang ingin diuji. Misalnya, "target miskonsepsi: elektron bergerak dalam larutan elektrolit" atau "target miskonsepsi: katalis mengubah nilai K."

Prinsip kelima adalah **level kognitif yang jelas**. Prompt harus menyebut apakah soal bertujuan mengukur ingatan, pemahaman, aplikasi, analisis, evaluasi, atau kreasi. Jika meminta soal HOTS, prompt harus menyebut stimulus data, grafik, klaim, atau kasus agar soal benar-benar menuntut berpikir tingkat tinggi.

Prinsip keenam adalah **keterbacaan dan kesesuaian jenjang**. Bahasa soal harus sesuai usia dan kemampuan siswa. Prompt dapat meminta "gunakan bahasa siswa SMA kelas X" atau "hindari istilah perguruan tinggi."

Prinsip ketujuh adalah **umpan balik**. Soal formatif sebaiknya disertai umpan balik. Prompt perlu meminta umpan balik untuk jawaban benar dan salah, terutama jika soal digunakan dalam pembelajaran adaptif.

3.8.3 Prompt untuk Soal Pilihan Ganda Kimia

Soal pilihan ganda banyak digunakan karena praktis. Namun, dalam kimia, soal pilihan ganda yang baik harus memiliki distraktor yang bermakna. Distraktor tidak boleh asal salah. Distraktor harus mewakili kesalahan umum atau miskonsepsi. AI dapat membantu membuat soal pilihan ganda, tetapi prompt harus meminta analisis distraktor.

Contoh prompt:

"Buat lima soal pilihan ganda tentang kesetimbangan kimia untuk siswa SMA kelas XI. Setiap soal harus memiliki empat pilihan jawaban. Distraktor harus mewakili miskonsepsi umum, seperti reaksi berhenti pada setimbang, jumlah reaktan dan produk harus sama, katalis mengubah nilai K, dan perubahan konsentrasi mengubah K. Sertakan kunci, pembahasan, dan analisis setiap distraktor."

Dengan prompt ini, AI tidak hanya membuat jawaban benar, tetapi juga menjelaskan fungsi pilihan salah. Ini penting karena guru dapat memeriksa apakah distraktor benar-benar bermakna.

Contoh format hasil yang diharapkan:

1. Soal.
2. Pilihan A–D.
3. Kunci.
4. Pembahasan.

5. Analisis distraktor:
    - A menunjukkan miskonsepsi …
    - B menunjukkan kesalahan …
    - C benar karena …
    - D kurang tepat karena …

Prompt pilihan ganda untuk elektrolit:

“Buat soal pilihan ganda diagnostik tentang larutan elektrolit. Target miskonsepsi: larutan menghantarkan listrik karena elektron bergerak dalam air. Soal harus memuat konteks data uji nyala lampu. Sertakan kunci, pembahasan, dan analisis distraktor.”

Soal seperti ini lebih kuat daripada soal definisi.

3.8.4 Prompt untuk Soal Pilihan Ganda Beralasan

Pilihan ganda beralasan meminta siswa memilih jawaban dan menuliskan alasan. Bentuk ini lebih baik daripada pilihan ganda biasa karena guru dapat mengetahui apakah jawaban benar didukung pemahaman. AI dapat membantu menyusun soal jenis ini.

Contoh prompt:

“Buat lima soal pilihan ganda beralasan tentang asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer untuk siswa SMA kelas XI. Setiap soal memuat pilihan jawaban dan instruksi agar siswa menulis alasan. Sertakan kunci jawaban, contoh alasan benar, alasan salah yang mungkin muncul, dan umpan balik.”

Contoh soal:

“Larutan HCl 0,001 M dan larutan CH_3COOH 1 M dibandingkan. Pernyataan manakah yang benar? Jelaskan alasanmu.”

Soal ini menuntut siswa membedakan kekuatan asam dan konsentrasi. Siswa tidak cukup memilih jawaban. Mereka harus menjelaskan bahwa HCl adalah asam kuat karena terionisasi hampir sempurna, sedangkan CH_3COOH adalah asam lemah meskipun konsentrasinya lebih besar.

Prompt dapat ditambah:

“Pastikan soal tidak menimbulkan anggapan bahwa asam kuat selalu memiliki pH lebih rendah daripada asam lemah tanpa memperhatikan konsentrasi.”

Dengan demikian, AI diarahkan agar lebih hati-hati secara konsep.

3.8.5 Prompt untuk Soal Two-Tier dan Three-Tier

Soal *two-tier* dan *three-tier* sangat berguna untuk asesmen diagnostik kimia. Pada *two-tier*, siswa memilih jawaban dan alasan. Pada *three-tier*, siswa juga menyatakan tingkat keyakinan. Bentuk ini membantu guru membedakan paham konsep, menebak, dan miskonsepsi.

Contoh prompt *two-tier*:

"Buat lima soal two-tier diagnostic test tentang larutan elektrolit untuk siswa SMA kelas X. Tier pertama berupa pilihan jawaban konsep, tier kedua berupa pilihan alasan. Target miskonsepsi: semua zat larut menghasilkan ion, elektron bergerak dalam larutan, elektrolit lemah berarti larutan sedikit, dan larutan pekat pasti elektrolit kuat. Sertakan kunci, interpretasi kombinasi jawaban, dan umpan balik."

Contoh prompt *three-tier*:

"Buat empat soal three-tier diagnostic test tentang kesetimbangan kimia. Tier 1 pilihan jawaban, tier 2 alasan, tier 3 tingkat keyakinan: yakin, ragu-ragu, tidak yakin. Target miskonsepsi: reaksi berhenti pada setimbang, jumlah reaktan-produk harus sama, katalis mengubah K, dan perubahan konsentrasi mengubah K. Sertakan kunci dan interpretasi pola jawaban."

Interpretasi pola jawaban penting. Misalnya:

Pola Jawaban	Interpretasi
Jawaban benar, alasan benar, yakin	Paham konsep
Jawaban benar, alasan salah, yakin	Pemahaman parsial atau miskonsepsi tersembunyi
Jawaban salah, alasan salah, yakin	Miskonsepsi kuat
Jawaban salah, alasan salah, tidak yakin	Belum paham atau menebak

AI dapat membantu membuat tabel interpretasi, tetapi guru harus menyesuaikan dengan konteks.

3.8.6 Prompt untuk Soal Uraian Kimia

Soal uraian memungkinkan guru menilai penalaran, penggunaan istilah, struktur jawaban, dan pemahaman konsep. Prompt untuk soal uraian harus meminta rubrik atau pedoman penskoran agar penilaian konsisten.

Contoh prompt:

"Buat lima soal uraian pendek tentang ikatan kimia untuk siswa SMA kelas X. Soal harus mengukur kemampuan menjelaskan hubungan antara jenis ikatan dan sifat zat. Sertakan jawaban ideal, poin-poin penting yang harus ada, rubrik skor 0–4, dan miskonsepsi yang mungkin muncul."

Untuk soal uraian konseptual:

"Buat soal uraian tentang mengapa larutan NaCl menghantarkan listrik sedangkan larutan gula tidak. Sertakan jawaban ideal yang menjelaskan ion dan molekul netral, rubrik penilaian, serta umpan balik untuk jawaban yang menyebut elektron bergerak dalam larutan."

Soal uraian harus jelas. Hindari pertanyaan terlalu luas seperti “jelaskan elektrolit” tanpa batas. Lebih baik menulis: “Jelaskan perbedaan partikel dalam larutan NaCl dan larutan gula, lalu hubungkan dengan daya hantar listrik.”

3.8.7 Prompt untuk Soal HOTS Kimia

Soal HOTS harus menuntut analisis, evaluasi, atau kreasi. Prompt harus meminta stimulus yang bermakna, seperti data, grafik, kasus, klaim, atau solusi siswa yang salah. Jika tidak, AI sering menghasilkan soal yang hanya panjang tetapi masih hafalan.

Contoh prompt:

“Buat lima soal HOTS tentang laju reaksi untuk siswa SMA kelas XI. Setiap soal harus menggunakan stimulus berupa data, grafik, klaim, atau skenario eksperimen. Soal harus menuntut analisis atau evaluasi, bukan hafalan. Sertakan kunci, rubrik, konsep yang diuji, dan miskonsepsi yang mungkin muncul.”

Contoh prompt berbasis klaim:

“Buat tiga soal HOTS berbasis evaluasi klaim pada materi kesetimbangan kimia. Klaim harus tampak masuk akal tetapi mengandung potensi miskonsepsi. Siswa diminta menyatakan setuju/tidak setuju, memberi bukti, dan menjelaskan konsep. Sertakan jawaban ideal dan rubrik argumentasi.”

Contoh klaim:

“Katalis membuat jumlah produk pada keadaan setimbang menjadi lebih banyak karena mempercepat reaksi.”

Siswa harus mengevaluasi bahwa katalis mempercepat tercapainya kesetimbangan, tetapi tidak mengubah nilai K atau komposisi setimbang. Prompt seperti ini melatih berpikir kritis.

3.8.8 Prompt untuk Soal Berbasis Data dan Grafik

Soal berbasis data dan grafik sangat penting dalam kimia karena kimia adalah ilmu eksperimental. Prompt harus meminta data yang realistis dan konsisten. Jika data dibuat oleh AI, guru harus memeriksa kewajarannya.

Contoh prompt:

“Buat tiga soal berbasis data tentang pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Sajikan tabel data simulatif yang realistis dan beri keterangan bahwa data adalah data latihan. Siswa diminta mengidentifikasi pola, membuat klaim, menggunakan bukti, dan menjelaskan dengan teori tumbukan. Sertakan kunci dan rubrik.”

Contoh prompt grafik:

“Buat soal berbasis grafik titrasi asam lemah-basa kuat untuk siswa SMA kelas XI. Deskripsikan grafik pH terhadap volume NaOH yang ditambahkan. Siswa diminta mengidentifikasi daerah buffer, titik ekuivalen, alasan pH titik ekuivalen lebih dari 7, dan sumber kesalahan pembacaan. Sertakan kunci dan rubrik.”

Soal berbasis grafik perlu meminta siswa membaca, menafsirkan, dan menjelaskan. Jangan hanya meminta “lihat grafik” tanpa analisis.

3.8.9 Prompt untuk Soal Berbasis Praktikum

Soal berbasis praktikum mengukur kemampuan siswa memahami prosedur, data, variabel, keselamatan, dan analisis hasil. AI dapat membantu membuat soal pra-lab, soal pasca-lab, dan soal analisis kesalahan praktikum.

Contoh prompt:

“Buat soal pasca-praktikum untuk praktikum uji elektrolit. Soal harus meminta siswa menganalisis data nyala lampu dan gelembung, mengklasifikasikan larutan, menjelaskan perbedaan partikel, menulis persamaan disosiasi sederhana, menyebut sumber kesalahan, dan menarik kesimpulan berbasis data. Sertakan kunci dan rubrik.”

Untuk variabel:

“Buat soal analisis rancangan eksperimen laju reaksi. Siswa diberi rancangan yang salah karena mengubah suhu dan luas permukaan sekaligus. Siswa diminta mengidentifikasi masalah, menentukan variabel bebas-terikat-kontrol, dan memperbaiki rancangan. Sertakan rubrik.”

Soal praktikum harus menilai proses ilmiah, bukan hanya hasil akhir.

3.8.10 Prompt untuk Menyusun Rubrik Analitik

Rubrik analitik memecah penilaian menjadi beberapa aspek. Dalam kimia, rubrik analitik sangat berguna untuk jawaban uraian, laporan praktikum, proyek, presentasi, dan portofolio. Prompt rubrik harus menyebut tugas, aspek yang dinilai, skala, dan deskriptor operasional.

Contoh prompt:

“Buat rubrik analitik skala 0–4 untuk menilai jawaban uraian siswa tentang mengapa larutan NaCl menghantarkan listrik sedangkan larutan gula tidak. Aspek penilaian: konsep ion, perbedaan elektrolit dan nonelektrolit, hubungan partikel dengan daya hantar listrik, penggunaan istilah kimia, dan kejelasan penjelasan. Deskriptor harus spesifik dan dapat diamati.”

Contoh prompt laporan praktikum:

“Buat rubrik analitik skala 1–4 untuk menilai laporan praktikum laju reaksi. Aspek: tujuan, variabel, data, grafik, analisis teori tumbukan, sumber kesalahan, kesimpulan berbasis data, keselamatan, dan kerapian laporan.”

Rubrik yang baik tidak menggunakan deskriptor kabur seperti “sangat baik” tanpa penjelasan. Prompt harus meminta “deskriptor operasional”.

3.8.11 Prompt untuk Menyusun Rubrik Holistik

Rubrik holistik memberikan satu skor keseluruhan. Rubrik ini lebih cepat digunakan tetapi kurang rinci. Dalam pembelajaran kimia, rubrik holistik dapat digunakan untuk tugas kecil, refleksi singkat, atau jawaban lisan. Namun, untuk tugas kompleks lebih baik menggunakan rubrik analitik.

Contoh prompt:

“Buat rubrik holistik skala 1–4 untuk menilai refleksi siswa setelah pembelajaran kesetimbangan kimia. Rubrik harus menilai kedalaman pemahaman, kesadaran terhadap miskonsepsi, penggunaan istilah kimia, dan rencana perbaikan belajar.”

Rubrik holistik dapat berbentuk:

- Skor 4: Refleksi menunjukkan pemahaman konsep yang benar, menyebut perubahan pemahaman, menggunakan istilah kimia tepat, dan menyusun rencana perbaikan.
- Skor 3: Refleksi cukup benar tetapi belum mendalam.
- Skor 2: Refleksi umum dan masih ada kekeliruan.
- Skor 1: Refleksi sangat terbatas atau tidak relevan.

Rubrik holistik cocok untuk penilaian cepat, tetapi guru harus tetap jelas dalam deskriptor.

3.8.12 Prompt untuk Rubrik Praktikum Kimia

Praktikum kimia membutuhkan rubrik khusus karena menilai keterampilan proses, keselamatan, data, dan analisis. Prompt harus meminta aspek pra-praktikum, pelaksanaan, dan pasca-praktikum.

Contoh prompt:

“Buat rubrik praktikum titrasi asam-basa untuk siswa SMA kelas XI. Rubrik mencakup pra-praktikum, pelaksanaan, dan laporan. Aspek pra-praktikum: pemahaman tujuan, prinsip titrasi, dan K3. Aspek pelaksanaan: penggunaan buret, pembacaan meniskus, ketelitian titik akhir, pencatatan data, dan keselamatan. Aspek laporan: perhitungan konsentrasi, analisis sumber kesalahan, kesimpulan, dan refleksi. Gunakan skala 1–4.”

Untuk praktikum elektrolit:

“Buat rubrik praktikum uji elektrolit. Aspek: prediksi, keselamatan rangkaian baterai rendah, pengamatan nyala lampu, pencatatan gelembung, klasifikasi larutan, penjelasan ion, dan kesimpulan berbasis data.”

Rubrik praktikum harus memasukkan K3 secara eksplisit. Jika AI tidak memasukkan K3, guru harus menambahkannya.

3.8.13 Prompt untuk Rubrik Proyek dan Produk Kreatif

Proyek dan produk kreatif kimia memerlukan rubrik yang menilai konsep, proses, produk, komunikasi, dan etika. Produk kreatif tidak boleh dinilai hanya dari estetika.

Contoh prompt:

“Buat rubrik proyek kimia tentang indikator alami asam-basa. Produk akhir berupa poster ilmiah dan presentasi. Aspek penilaian: akurasi konsep asam-basa dan indikator, rancangan uji yang aman, kualitas data perubahan warna, analisis hasil, kualitas poster, argumentasi presentasi, kerja sama, refleksi, dan etika penggunaan AI. Gunakan skala 1–4.”

Untuk infografik:

“Buat rubrik penilaian infografik kimia tentang elektrolit. Aspek: akurasi konsep ion, perbedaan elektrolit kuat-lemah-nonelektrolit, hubungan makro-submikro-simbolik, keterbacaan, kualitas visual, sumber, dan dokumentasi penggunaan AI.”

Rubrik proyek harus diberikan sebelum siswa bekerja agar mereka memahami standar kualitas.

3.8.14 Prompt untuk Rubrik Argumentasi Ilmiah

Argumentasi ilmiah menilai kemampuan siswa membuat klaim, menggunakan bukti, dan memberi alasan. Prompt rubrik harus menyebut struktur klaim-bukti-alasan.

Contoh prompt:

“Buat rubrik analitik skala 0–3 untuk menilai argumentasi ilmiah siswa pada materi laju reaksi. Siswa diminta membuat klaim berdasarkan data, menggunakan bukti dari tabel, dan menjelaskan dengan teori tumbukan. Aspek rubrik: klaim, bukti, alasan, hubungan bukti-klaim, penggunaan konsep kimia, dan kejelasan komunikasi.”

Rubrik argumentasi dapat digunakan dalam diskusi, laporan, atau soal HOTS. Deskriptor harus jelas. Misalnya, skor tinggi pada bukti berarti siswa menyebut data spesifik, bukan sekadar “berdasarkan percobaan”.

3.8.15 Prompt untuk Menyusun Umpan Balik Pembelajaran

Umpan balik pembelajaran membantu siswa memperbaiki pemahaman. Prompt untuk umpan balik harus menyebut jenis kesalahan. Umpan balik yang baik tidak hanya mengatakan “salah”, tetapi menjelaskan bagian yang perlu diperbaiki dan memberi petunjuk.

Contoh prompt:

“Buat umpan balik formatif untuk siswa yang menjawab bahwa larutan elektrolit menghantarkan listrik karena elektron bergerak bebas di dalam air. Umpan balik harus singkat, mendukung, menjelaskan bahwa pembawa muatan dalam larutan adalah ion, membedakan aliran elektron di kawat dan pergerakan ion dalam larutan, serta diakhiri dengan satu pertanyaan pemandu.”

Contoh prompt lain:

“Buat umpan balik untuk siswa yang menyatakan bahwa pada kesetimbangan reaksi berhenti. Umpan balik harus menjelaskan kesetimbangan dinamis dengan bahasa SMA dan meminta siswa membedakan konsentrasi konstan dari reaksi berhenti.”

Umpan balik harus sesuai jenjang dan tidak merendahkan siswa. Hindari kalimat “jawabanmu buruk”. Gunakan “bagian yang perlu diperbaiki adalah…”

3.8.16 Prompt untuk Umpan Balik Adaptif

Umpan balik adaptif diberikan berdasarkan jenis kesalahan. AI sangat membantu membuat bank umpan balik adaptif untuk topik tertentu.

Contoh prompt:

“Buat bank umpan balik adaptif untuk materi stoikiometri. Jenis kesalahan: persamaan reaksi belum setara, salah menghitung mol, salah massa molar, salah menggunakan koefisien, salah menentukan pereaksi pembatas, dan salah satuan. Untuk setiap kesalahan, berikan umpan balik singkat, petunjuk perbaikan, dan satu soal latihan lanjutan.”

Untuk elektrokimia:

“Buat umpan balik adaptif untuk miskonsepsi sel volta: anode selalu positif, elektron mengalir melalui larutan, jembatan garam menghantarkan elektron, oksidasi terjadi di katode, dan massa elektroda tidak berubah. Sertakan klarifikasi konsep dan pertanyaan pemandu.”

Bank umpan balik ini dapat digunakan guru saat mengoreksi atau membuat kuis digital.

3.8.17 Prompt untuk Umpan Balik Bertingkat

Umpan balik bertingkat memberi bantuan secara bertahap. Ini penting agar siswa tetap berpikir, bukan langsung menerima jawaban. AI dapat membantu membuat petunjuk level 1 sampai 4.

Contoh prompt:

“Buat umpan balik bertingkat untuk soal pH asam lemah. Kesalahan siswa: langsung menggunakan pH = -log C seperti asam kuat. Tingkat 1 berupa pertanyaan pemandu, tingkat 2 petunjuk konsep Ka, tingkat 3 contoh tabel ICE sederhana, tingkat 4 pembahasan lengkap. Gunakan bahasa SMA.”

Contoh struktur:

- Tingkat 1: “Apakah asam ini terionisasi sempurna atau sebagian?”
- Tingkat 2: “Untuk asam lemah, konsentrasi H^+ harus ditentukan dari Ka.”
- Tingkat 3: “Buat kesetimbangan $HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$.”
- Tingkat 4: “Gunakan $Ka = [H^+][A^-]/[HA]$, lalu hitung pH dari $[H^+]$.”

Umpan balik bertingkat sangat sesuai untuk modul digital dan pembelajaran mandiri.

3.8.18 Prompt untuk Mengevaluasi Soal, Rubrik, dan Umpan Balik Buatan AI

Setelah AI membuat soal, rubrik, atau umpan balik, guru perlu mengevaluasi. AI juga dapat membantu meninjau, tetapi keputusan akhir tetap guru.

Prompt evaluasi soal:

“Tinjau soal kimia berikut dari aspek kesesuaian tujuan, akurasi konsep, level kognitif, kualitas stimulus, kejelasan bahasa, kualitas distraktor, kunci jawaban, dan potensi miskonsepsi. Berikan saran revisi.”

Prompt evaluasi rubrik:

“Tinjau rubrik berikut. Periksa apakah aspek penilaian sesuai tugas, deskriptor operasional, level skor jelas, akurasi konsep kimia tercakup, keselamatan tercakup jika relevan, dan rubrik praktis digunakan.”

Prompt evaluasi umpan balik:

“Tinjau umpan balik berikut. Periksa apakah umpan balik benar secara konsep, spesifik terhadap kesalahan siswa, menggunakan bahasa mendukung, memberi arah perbaikan, dan tidak langsung mengambil alih proses berpikir siswa.”

Evaluasi ini membantu guru memperbaiki kualitas hasil AI.

3.8.19 Template Prompt Terpadu untuk Soal, Rubrik, dan Umpan Balik

Template umum:

“Bertindaklah sebagai guru kimia [jenjang] dan ahli asesmen. Buat [jumlah] soal tentang [topik] untuk mengukur [tujuan/indikator]. Bentuk soal: [pilihan ganda/uraian/two-tier/HOTS/data/grafik/praktikum]. Level kognitif: [pemahaman/aplikasi/analisis/evaluasi].

Sertakan stimulus jika diperlukan. Target miskonsepsi: [miskonsepsi]. Untuk setiap soal, tuliskan kunci, pembahasan, analisis distraktor jika pilihan ganda, rubrik jika uraian, dan umpan balik untuk jawaban salah. Gunakan bahasa sesuai [jenjang] dan pastikan konsep kimia akurat."

Template rubrik:

"Bertindaklah sebagai ahli asesmen kimia. Buat rubrik [analitik/holistik] untuk menilai [tugas]. Tujuan tugas: [tujuan]. Aspek yang harus dinilai: [aspek]. Gunakan skala [0–3/1–4]. Deskriptor harus spesifik, dapat diamati, dan sesuai jenjang. Sertakan aspek akurasi konsep kimia, keselamatan jika relevan, dan etika penggunaan AI jika tugas menggunakan AI."

Template umpan balik:

"Buat umpan balik untuk siswa pada topik [topik] dengan kesalahan [jenis kesalahan]. Umpan balik harus: mengakui bagian yang sudah benar jika ada, menunjukkan bagian yang perlu diperbaiki, menjelaskan konsep benar secara singkat, memberi petunjuk perbaikan, dan diakhiri dengan satu pertanyaan pemandu. Gunakan bahasa mendukung dan sesuai [jenjang]."

Template evaluasi:

"Tinjau dan revisi [soal/rubrik/umpan balik] berikut agar lebih akurat secara kimia, sesuai tujuan, jelas, tidak ambigu, dan mendukung pembelajaran. Jelaskan perubahan yang diperlukan."

3.8.20 Validasi Hasil Prompt Asesmen

Validasi hasil prompt asesmen harus menjadi kebiasaan. Guru perlu memeriksa apakah soal sesuai indikator, kunci benar, pembahasan tepat, distraktor bermakna, rubrik operasional, dan umpan balik membantu. Pada soal perhitungan, guru harus menghitung ulang. Pada soal konsep, guru harus memeriksa istilah dan penjelasan. Pada soal berbasis data, guru harus memastikan data konsisten. Pada soal praktikum, guru harus memastikan keselamatan.

Daftar cek validasi soal:

1. Apakah soal sesuai tujuan pembelajaran?
2. Apakah konsep kimia benar?
3. Apakah kunci jawaban benar?
4. Apakah pembahasan jelas?
5. Apakah distraktor bermakna?
6. Apakah bahasa tidak ambigu?
7. Apakah level kognitif sesuai?
8. Apakah representasi kimia tepat?
9. Apakah miskonsepsi dapat terdeteksi?
10. Apakah soal sesuai jenjang?

Daftar cek validasi rubrik:

1. Aspek sesuai tugas.
2. Deskriptor jelas.
3. Level skor berbeda nyata.
4. Akurasi konsep dinilai.
5. Keselamatan dinilai jika relevan.
6. Etika AI dinilai jika relevan.
7. Rubrik praktis digunakan.
8. Rubrik membantu umpan balik.

Daftar cek validasi umpan balik:

1. Benar secara konsep.
2. Spesifik terhadap kesalahan.
3. Bahasa mendukung.
4. Memberi arah perbaikan.
5. Tidak terlalu panjang.
6. Tidak langsung mengambil alih jawaban.
7. Sesuai jenjang.
8. Menghindari miskonsepsi baru.

Dengan demikian, prompt untuk menyusun soal, rubrik, dan umpan balik pembelajaran memiliki peran penting dalam memastikan pembelajaran kimia berbantuan AI tetap terukur, valid, dan bermakna. AI dapat mempercepat penyusunan asesmen, tetapi guru tetap harus merancang prompt dengan jelas, memvalidasi hasil, dan menyesuaikan dengan konteks kelas. Soal yang baik mengungkap pemahaman; rubrik yang baik menjelaskan standar kualitas; umpan balik yang baik membantu siswa memperbaiki kesalahan. Ketiganya harus bekerja bersama untuk membangun pembelajaran kimia yang lebih reflektif, adaptif, dan bertanggung jawab.

3.9 Prompt untuk Simulasi, Praktikum, dan Eksperimen Kimia

Prompt untuk simulasi, praktikum, dan eksperimen kimia memerlukan perhatian khusus karena berhubungan langsung dengan karakter kimia sebagai ilmu eksperimental. Pembelajaran kimia tidak cukup hanya menyajikan konsep secara verbal atau simbolik. Siswa perlu mengalami, mengamati, memodelkan, dan menganalisis fenomena kimia melalui kegiatan laboratorium, demonstrasi, simulasi, atau eksperimen sederhana yang aman. Dalam konteks ini, AI dapat membantu guru merancang aktivitas simulasi, praktikum, dan eksperimen, tetapi tidak boleh menjadi satu-satunya sumber prosedur. Semua rancangan praktikum dan eksperimen yang dihasilkan AI harus divalidasi oleh guru, dosen, atau laboran dari sisi konsep, keselamatan, alat-bahan, limbah, waktu, dan kelayakan kelas.

Simulasi, praktikum, dan eksperimen memiliki fungsi yang berbeda. **Simulasi** membantu siswa memahami fenomena yang sulit diamati langsung, seperti gerak partikel, tumbukan efektif, kesetimbangan dinamis, struktur molekul, atau perubahan konsentrasi. **Praktikum** memberi pengalaman langsung kepada siswa untuk menggunakan alat, mengamati perubahan, mencatat data, dan menarik kesimpulan. **Eksperimen** menekankan proses penyelidikan ilmiah, termasuk

merumuskan masalah, menentukan variabel, mengumpulkan data, menguji hipotesis, dan mengevaluasi hasil. Ketiganya dapat saling melengkapi dalam pembelajaran kimia.

AI dapat digunakan untuk menyusun skenario simulasi, panduan observasi, lembar kerja praktikum, prosedur eksperimen, pertanyaan pra-lab, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, rubrik keterampilan proses sains, dan refleksi pasca-kegiatan. Namun, guru harus menyadari bahwa AI dapat menghasilkan prosedur yang tidak aman, menyarankan bahan yang tidak sesuai, atau membuat klaim eksperimen yang tidak realistis. Karena itu, prompt untuk simulasi, praktikum, dan eksperimen kimia harus secara eksplisit memuat batas keselamatan, jenjang siswa, alat-bahan yang tersedia, durasi, tujuan pembelajaran, variabel, bentuk data, dan prosedur validasi.

3.9.1 Hakikat Simulasi, Praktikum, dan Eksperimen dalam Pembelajaran Kimia

Simulasi dalam pembelajaran kimia berfungsi sebagai jembatan antara konsep abstrak dan pemahaman visual. Banyak konsep kimia terjadi pada level partikel yang tidak dapat dilihat langsung oleh siswa. Misalnya, siswa tidak dapat melihat ion bergerak dalam larutan, molekul bertumbukan, reaksi maju-balik pada kesetimbangan, atau distribusi partikel gas. Simulasi membantu memvisualisasikan proses tersebut sehingga siswa dapat membangun model mental yang lebih baik. Akan tetapi, simulasi tetap merupakan model. Guru harus menjelaskan bahwa simulasi menyederhanakan realitas dan tidak selalu menggambarkan semua detail sistem kimia.

Praktikum berfungsi memberi pengalaman empiris. Dalam praktikum, siswa mengamati fenomena nyata, seperti perubahan warna, terbentuknya endapan, nyala lampu pada uji elektrolit, perubahan suhu, perubahan pH, atau terbentuknya gas. Praktikum membantu siswa memahami bahwa konsep kimia dibangun dari bukti. Namun, praktikum tidak otomatis menghasilkan pemahaman. Jika praktikum hanya dilakukan sebagai prosedur mekanis, siswa dapat mengikuti langkah tanpa memahami konsep. Oleh karena itu, praktikum harus dilengkapi dengan prediksi, pertanyaan analisis, refleksi, dan diskusi.

Eksperimen memiliki dimensi penyelidikan yang lebih kuat. Dalam eksperimen, siswa tidak hanya mengikuti prosedur, tetapi juga memahami variabel, kontrol, pengukuran, data, dan inferensi. Misalnya, ketika siswa menyelidiki pengaruh suhu terhadap laju reaksi, mereka harus memastikan bahwa variabel lain seperti konsentrasi, volume, dan luas permukaan tetap dikontrol. Jika tidak, kesimpulan menjadi lemah. Eksperimen mengembangkan keterampilan proses sains dan penalaran berbasis bukti.

Prompt AI untuk ketiga aktivitas tersebut harus menyesuaikan fungsi masing-masing. Jika guru ingin simulasi, prompt harus meminta visualisasi konsep, instruksi pengamatan, dan refleksi batas model. Jika guru ingin praktikum, prompt harus meminta alat-bahan, K3, prosedur, tabel pengamatan, dan pertanyaan analisis. Jika guru ingin eksperimen, prompt harus meminta rumusan masalah, hipotesis, variabel, kontrol, data, analisis, dan kesimpulan berbasis bukti.

3.9.2 Prinsip Umum Prompt untuk Simulasi dan Praktikum Kimia

Prinsip pertama adalah **keselamatan sebagai syarat utama**. Prompt praktikum harus menyebut bahwa prosedur harus aman, sesuai jenjang, menggunakan bahan yang tersedia dan berisiko

rendah, serta berada di bawah pengawasan guru. Jika ada bahan kimia, prompt harus meminta konsentrasi, alat pelindung diri, penanganan tumpahan, dan pengelolaan limbah. Prompt juga harus melarang penggunaan prosedur berbahaya, bahan toksik, reaksi eksplosif, atau pencampuran bahan rumah tangga yang tidak aman.

Prinsip kedua adalah **kesesuaian tujuan pembelajaran**. Praktikum tidak boleh hanya menarik secara visual. Aktivitas harus membantu mencapai tujuan. Misalnya, praktikum indikator alami harus mengarah pada konsep asam-basa dan perubahan warna indikator, bukan hanya membuat larutan berwarna. Uji elektrolit harus mengarah pada konsep ion dan daya hantar listrik, bukan hanya melihat lampu menyala.

Prinsip ketiga adalah **kejelasan variabel**. Eksperimen yang baik harus menyebut variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Prompt perlu meminta AI menuliskan ketiganya. Jika aktivitas hanya demonstrasi, guru tetap dapat meminta prediksi dan observasi agar siswa berpikir ilmiah.

Prinsip keempat adalah **keterukuran data**. Praktikum harus menghasilkan data atau observasi yang dapat dianalisis. Data dapat berupa waktu reaksi, perubahan warna, pH, suhu, volume, massa, intensitas nyala lampu secara kualitatif, atau jumlah gelembung secara relatif. Prompt perlu meminta tabel data yang sesuai.

Prinsip kelima adalah **hubungan makro-submikro-simbolik**. Praktikum kimia harus menghubungkan fenomena yang terlihat dengan penjelasan partikel dan simbol. Misalnya, endapan putih yang terlihat harus dihubungkan dengan ion yang bereaksi dan persamaan ion bersih.

Prinsip keenam adalah **refleksi dan sumber kesalahan**. Siswa perlu belajar bahwa data eksperimen memiliki keterbatasan. Prompt harus meminta pertanyaan tentang sumber kesalahan, ketelitian, kontrol variabel, dan perbaikan eksperimen.

Prinsip ketujuh adalah **validasi guru/laboran**. Prompt harus mengingatkan bahwa prosedur praktikum perlu diverifikasi sebelum digunakan. Ini penting karena AI tidak mengetahui kondisi laboratorium secara nyata.

3.9.3 Prompt untuk Mendesain Simulasi Kimia

Prompt untuk simulasi kimia perlu meminta AI merancang aktivitas berbasis pengamatan model. Guru dapat menggunakan simulasi yang sudah tersedia, media digital, animasi, atau deskripsi simulasi konseptual. AI dapat membantu menyusun panduan penggunaan simulasi meskipun tidak membuat aplikasi simulasi secara langsung.

Contoh prompt:

“Bertindaklah sebagai guru kimia SMA dan perancang pembelajaran berbasis simulasi. Buat panduan aktivitas simulasi tentang kesetimbangan kimia untuk siswa kelas XI. Simulasi menampilkan reaksi maju dan balik, grafik konsentrasi terhadap waktu, dan perubahan setelah

penambahan reaktan. Panduan harus memuat tujuan, prasyarat, pertanyaan prediksi, instruksi pengamatan, tabel data, pertanyaan analisis, miskonsepsi yang perlu dihindari, refleksi batas simulasi, dan exit ticket."

Prompt ini mengarahkan AI menghasilkan aktivitas lengkap. Siswa tidak hanya melihat simulasi, tetapi melakukan prediksi, mencatat, dan menganalisis.

Untuk teori tumbukan:

"Buat panduan simulasi teori tumbukan pada materi laju reaksi. Siswa mengamati pengaruh suhu, konsentrasi, dan luas permukaan terhadap frekuensi tumbukan dan tumbukan efektif. Panduan harus memuat prediksi, variabel yang diubah, data yang diamati, pertanyaan analisis, dan hubungan dengan teori tumbukan. Jelaskan batas model simulasi."

Untuk bentuk molekul:

"Buat aktivitas simulasi VSEPR untuk siswa SMA kelas X. Siswa mengamati CH_4, NH_3, H_2O, CO_2, dan BF_3. Aktivitas harus meminta siswa menentukan jumlah domain elektron, pasangan elektron bebas, bentuk molekul, polaritas, dan alasan. Sertakan tabel pengamatan dan pertanyaan refleksi."

Simulasi harus diarahkan agar siswa memahami konsep, bukan hanya melihat gambar.

3.9.4 Prompt untuk Mendesain Praktikum Demonstrasi

Praktikum demonstrasi dilakukan oleh guru di depan kelas, biasanya karena alasan keselamatan, keterbatasan alat, atau efisiensi waktu. AI dapat membantu guru menyusun skenario demonstrasi yang disertai pertanyaan prediksi dan diskusi. Demonstrasi yang baik tidak hanya memperlihatkan efek visual, tetapi mengaktifkan penalaran siswa.

Contoh prompt:

"Buat skenario demonstrasi kimia yang aman untuk materi laju reaksi kelas XI. Demonstrasi menunjukkan perbedaan laju pelarutan atau reaksi pada suhu berbeda menggunakan bahan aman. Skenario harus memuat tujuan, alat-bahan, K3, langkah demonstrasi, pertanyaan prediksi sebelum demonstrasi, pertanyaan observasi saat demonstrasi, pertanyaan analisis setelah demonstrasi, dan miskonsepsi yang perlu dihindari."

Untuk asam-basa:

"Buat skenario demonstrasi perubahan warna indikator alami pada larutan asam dan basa yang aman untuk siswa SMA. Sertakan alat-bahan, K3, prosedur, pertanyaan prediksi, tabel observasi kelas, penjelasan konsep indikator, dan refleksi keterbatasan indikator alami."

Demonstrasi sebaiknya menggunakan bahan aman dan tidak mendorong siswa meniru tanpa pengawasan. Jika menggunakan larutan rumah tangga, prompt harus melarang pencampuran bahan pembersih berbahaya.

3.9.5 Prompt untuk Mendesain Praktikum Inkuiri Terbimbing

Praktikum inkuiri terbimbing memberi siswa ruang menyelidiki, tetapi tetap dengan panduan guru. Siswa diberi masalah, pertanyaan, atau fenomena, lalu diarahkan mengumpulkan data dan menyimpulkan. AI dapat membantu menyusun LKPD inkuiri terbimbing.

Contoh prompt:

“Buat LKPD praktikum inkuiri terbimbing tentang faktor yang memengaruhi laju reaksi untuk siswa SMA kelas XI. Fokus pada pengaruh luas permukaan. Gunakan bahan aman dan prosedur sederhana. LKPD harus memuat pertanyaan penelitian, hipotesis, variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, alat-bahan, K3, prosedur, tabel data, pertanyaan analisis, hubungan dengan teori tumbukan, sumber kesalahan, dan kesimpulan berbasis data.”

Untuk elektrolit:

“Buat LKPD inkuiri terbimbing uji daya hantar larutan untuk siswa kelas X. Gunakan alat uji dengan baterai tegangan rendah. Siswa diminta memprediksi, menguji beberapa larutan aman, mencatat nyala lampu dan gelembung, mengklasifikasikan larutan, menggambar partikel secara sederhana, dan menyimpulkan peran ion. Sertakan K3 dan pertanyaan miskonsepsi.”

Prompt inkuiri harus meminta variabel dan pertanyaan penelitian agar praktikum tidak sekadar resep prosedur.

3.9.6 Prompt untuk Mendesain Eksperimen Berbasis Variabel

Eksperimen berbasis variabel melatih siswa memahami hubungan sebab-akibat. AI dapat membantu merancang eksperimen yang menguji satu variabel secara terkendali. Prompt harus meminta AI memastikan hanya satu variabel bebas yang diubah.

Contoh prompt:

“Rancang eksperimen kimia sederhana untuk menguji pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Eksperimen harus aman untuk siswa SMA, menggunakan bahan berisiko rendah, dan hanya mengubah satu variabel bebas. Tuliskan rumusan masalah, hipotesis, variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, alat-bahan, K3, prosedur, tabel data, cara analisis, sumber kesalahan, dan pertanyaan refleksi.”

Prompt ini membantu siswa memahami rancangan eksperimen. Guru perlu mengecek apakah prosedur benar-benar hanya mengubah suhu. Jika AI juga mengubah massa atau konsentrasi, guru harus merevisi.

Untuk kelarutan:

“Rancang eksperimen aman untuk menyelidiki pengaruh suhu terhadap kelarutan zat padat tertentu dalam air. Gunakan bahan yang aman, jelaskan variabel, prosedur, data yang dikumpulkan, dan cara menyimpulkan. Sertakan catatan bahwa hasil bersifat kualitatif jika tidak menggunakan alat ukur presisi.”

Prompt harus realistis. Tidak semua eksperimen sekolah menghasilkan data presisi tinggi.

3.9.7 Prompt untuk Mendesain Praktikum Berbasis Data Sekunder

Jika praktikum nyata tidak memungkinkan, guru dapat menggunakan data sekunder atau data simulatif. AI dapat membantu membuat aktivitas analisis data, tetapi data simulatif harus diberi label. Aktivitas ini tetap dapat melatih penalaran ilmiah.

Contoh prompt:

“Buat aktivitas analisis data praktikum laju reaksi menggunakan data simulatif. Siswa tidak melakukan eksperimen langsung, tetapi menganalisis tabel waktu reaksi pada beberapa kondisi. Data harus realistis dan diberi keterangan sebagai data latihan. Aktivitas harus memuat pertanyaan pola data, grafik, teori tumbukan, variabel, sumber kesalahan hipotetik, dan kesimpulan.”

Untuk titrasi:

“Buat aktivitas analisis data titrasi asam-basa menggunakan data volume titran dari tiga pengulangan. Siswa diminta menghitung volume rata-rata, menentukan konsentrasi larutan, menganalisis ketelitian data, dan menyebut sumber kesalahan. Sertakan kunci dan rubrik.”

Data sekunder membantu jika waktu atau alat terbatas. Namun, guru perlu menekankan perbedaan antara data latihan dan data eksperimen nyata.

3.9.8 Prompt untuk Mendesain Praktikum Virtual

Praktikum virtual atau virtual lab dapat digunakan untuk melengkapi praktikum nyata. AI dapat membantu membuat panduan virtual lab. Prompt harus meminta siswa melakukan prediksi, mencatat hasil, dan merefleksikan keterbatasan virtual lab.

Contoh prompt:

“Buat LKPD praktikum virtual tentang titrasi asam kuat-basa kuat. Siswa menggunakan simulasi yang menampilkan perubahan pH saat titran ditambahkan. LKPD harus memuat tujuan, prediksi bentuk kurva, instruksi pengamatan, tabel volume-pH, pertanyaan analisis, identifikasi titik ekuivalen, perbedaan titik akhir dan titik ekuivalen, serta refleksi keterbatasan virtual lab dibanding praktikum nyata.”

Untuk gas:

“Buat LKPD virtual lab hukum gas. Siswa mengubah volume, suhu, dan jumlah partikel secara terpisah. LKPD harus memuat prediksi, tabel pengamatan, grafik hubungan variabel, analisis, dan batas model.”

Praktikum virtual tidak menggantikan seluruh keterampilan laboratorium, tetapi sangat membantu pemahaman konsep dan analisis variabel.

3.9.9 Prompt untuk Mendesain Eksperimen Rumah yang Aman

Eksperimen rumah harus sangat hati-hati. Guru tidak boleh menyarankan aktivitas yang melibatkan bahan berbahaya, pemanasan berisiko, gas berbahaya, tekanan, api, atau pencampuran bahan kimia rumah tangga secara tidak aman. Prompt harus secara eksplisit meminta bahan aman dan aktivitas observasi sederhana.

Contoh prompt:

“Buat aktivitas eksperimen rumah yang sangat aman untuk memperkenalkan konsep asam-basa secara kualitatif menggunakan indikator alami yang aman. Aktivitas harus menghindari bahan berbahaya, tidak menggunakan api, tidak mencampur bahan pembersih, dan harus dapat dilakukan dengan pengawasan orang dewasa. Sertakan tujuan, bahan aman, prosedur sederhana, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, dan catatan keselamatan.”

Namun, guru tetap harus meninjau apakah aktivitas layak diberikan sebagai tugas rumah. Sebaiknya eksperimen rumah lebih bersifat observasi sederhana daripada reaksi kimia kompleks.

Contoh aktivitas aman dapat berupa mengamati perubahan warna indikator alami pada bahan dapur yang aman, tetapi guru harus memberi batasan bahan yang boleh digunakan. Semua larutan harus diberi instruksi “tidak diminum atau dicicipi”.

3.9.10 Prompt untuk Menyusun K3 Praktikum Kimia

Keselamatan dan kesehatan kerja atau K3 harus menjadi bagian eksplisit dari setiap praktikum kimia. AI dapat membantu membuat daftar K3, tetapi guru/laboran harus memverifikasi.

Contoh prompt:

“Buat bagian K3 untuk praktikum uji elektrolit menggunakan baterai tegangan rendah. K3 harus mencakup keamanan rangkaian listrik, larangan menggunakan listrik PLN, penggunaan tangan kering, penanganan larutan, pembersihan elektroda, pembuangan limbah sesuai arahan guru, dan tindakan jika terjadi tumpahan.”

Untuk titrasi:

“Buat bagian K3 untuk praktikum titrasi asam-basa dengan larutan encer. K3 harus mencakup penggunaan kacamata keselamatan jika tersedia, kehati-hatian terhadap larutan asam/basa, cara menangani tumpahan kecil, larangan mencicipi bahan, pembuangan limbah, dan kebersihan alat.”

Untuk pemanasan:

“Buat bagian K3 praktikum yang melibatkan pemanasan ringan. Sertakan penggunaan penjepit, kewaspadaan terhadap kaca panas, rambut/pakaian longgar, ventilasi, dan pengawasan guru.”

K3 harus spesifik sesuai aktivitas. Kalimat umum “berhati-hatilah” tidak cukup.

3.9.11 Prompt untuk Menyusun Tabel Pengamatan dan Data

Tabel pengamatan membantu siswa mencatat data secara sistematis. AI dapat membantu membuat tabel yang sesuai dengan variabel dan tujuan praktikum. Prompt harus menyebut jenis data yang dikumpulkan.

Contoh prompt:

“Buat tabel pengamatan untuk praktikum uji elektrolit. Kolom harus mencakup nomor, nama larutan, prediksi daya hantar, nyala lampu, jumlah gelembung secara kualitatif, klasifikasi larutan, dan catatan.”

Untuk laju reaksi:

“Buat tabel data praktikum pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Kolom harus mencakup percobaan, suhu, volume larutan, konsentrasi, waktu reaksi pengulangan 1–3, rata-rata waktu, dan catatan pengamatan.”

Untuk titrasi:

“Buat tabel data titrasi asam-basa. Kolom mencakup percobaan, volume awal buret, volume akhir buret, volume titran, warna akhir, dan catatan ketelitian.”

Tabel yang baik membantu siswa menghindari data hilang. Guru dapat meminta AI menambahkan kolom “satuan” untuk melatih literasi data.

3.9.12 Prompt untuk Menyusun Pertanyaan Analisis Pasca-Praktikum

Pertanyaan pasca-praktikum sangat penting karena membantu siswa menghubungkan data dengan konsep. Tanpa pertanyaan analisis, praktikum dapat berubah menjadi aktivitas teknis. AI dapat membantu membuat pertanyaan analisis bertahap.

Contoh prompt:

“Buat pertanyaan analisis pasca-praktikum untuk uji elektrolit. Pertanyaan harus mengarahkan siswa dari data nyala lampu ke klasifikasi larutan, kemudian ke penjelasan ion pada level partikel, persamaan disosiasi sederhana, miskonsepsi elektron dalam larutan, sumber kesalahan, dan kesimpulan berbasis data.”

Untuk laju reaksi:

“Buat pertanyaan analisis pasca-praktikum laju reaksi. Pertanyaan harus meminta siswa mengidentifikasi pola data, membandingkan waktu reaksi, menjelaskan dengan teori tumbukan, membahas variabel kontrol, menyebut data anomali, dan menyimpulkan.”

Untuk titrasi:

“Buat pertanyaan analisis pasca-praktikum titrasi. Pertanyaan harus mencakup perhitungan volume titran, konsentrasi, ketelitian pengulangan, titik akhir, sumber kesalahan, dan perbedaan titik akhir dengan titik ekuivalen secara sederhana.”

Pertanyaan analisis sebaiknya bergerak dari observasi ke interpretasi, dari data ke konsep, dan dari kesimpulan ke refleksi.

3.9.13 Prompt untuk Menyusun Rubrik Praktikum dan Eksperimen

Rubrik praktikum menilai proses dan produk. AI dapat membantu menyusun rubrik, tetapi prompt harus meminta aspek yang spesifik.

Contoh prompt:

“Buat rubrik praktikum laju reaksi skala 1–4. Aspek yang dinilai: pemahaman tujuan, identifikasi variabel, keselamatan kerja, ketepatan prosedur, pencatatan data, pembuatan grafik, analisis teori tumbukan, sumber kesalahan, kesimpulan berbasis data, dan kerja sama kelompok. Deskriptor harus operasional.”

Untuk eksperimen:

“Buat rubrik desain eksperimen kimia. Aspek: rumusan masalah, hipotesis, variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, prosedur aman, data yang dikumpulkan, cara analisis, kelayakan, dan refleksi. Gunakan skala 1–4.”

Rubrik harus menilai kemampuan berpikir ilmiah, bukan hanya kerapian laporan.

3.9.14 Prompt untuk Menyusun Refleksi Praktikum

Refleksi membantu siswa memahami proses belajar. AI dapat membantu menyusun pertanyaan refleksi setelah praktikum.

Contoh prompt:

“Buat pertanyaan refleksi setelah praktikum uji elektrolit. Pertanyaan harus membantu siswa memikirkan perubahan pemahaman tentang ion, perbedaan prediksi dan data, kesalahan pengamatan, keselamatan kerja, dan konsep yang masih membingungkan.”

Contoh pertanyaan refleksi:

1. Prediksi saya yang paling tepat adalah …
2. Prediksi saya yang perlu diperbaiki adalah …
3. Data yang paling mendukung kesimpulan saya adalah …
4. Saya sekarang memahami bahwa larutan menghantarkan listrik karena …
5. Kesalahan atau keterbatasan praktikum yang mungkin terjadi adalah …
6. Pada praktikum berikutnya saya perlu memperbaiki …

Refleksi dapat menjadi bagian dari asesmen formatif.

3.9.15 Prompt untuk Mengintegrasikan AI dalam Praktikum

AI dapat digunakan oleh siswa untuk membantu memahami konsep sebelum atau setelah praktikum. Namun, AI tidak boleh digunakan untuk membuat data palsu atau menggantikan pengamatan. Guru dapat membuat aturan penggunaan AI.

Contoh prompt:

“Buat panduan penggunaan AI secara etis dalam praktikum kimia. Panduan harus menjelaskan bahwa siswa boleh menggunakan AI untuk memahami konsep, menyusun pertanyaan, atau memperbaiki bahasa laporan, tetapi tidak boleh menggunakan AI untuk membuat data praktikum, mengubah hasil pengamatan, atau menulis analisis tanpa verifikasi. Sertakan format log penggunaan AI.”

Format log:

Tujuan Menggunakan AI	Prompt	Ringkasan Jawaban AI	Bagian yang Dipakai	Verifikasi/Revisi

Panduan ini penting agar AI mendukung integritas ilmiah.

3.9.16 Prompt untuk Mengevaluasi Prosedur Praktikum Buatan AI

Guru dapat meminta AI meninjau kembali prosedur yang telah dibuat. Namun, validasi akhir tetap manusia. Prompt evaluasi dapat membantu menemukan risiko awal.

Contoh prompt:

“Tinjau prosedur praktikum berikut dari aspek keselamatan, kelayakan alat-bahan, kesesuaian jenjang SMA, kejelasan variabel, kejelasan data, potensi miskonsepsi, pengelolaan limbah, dan durasi. Berikan revisi konkret agar prosedur lebih aman dan pedagogis.”

Untuk LKPD:

“Evaluasi LKPD praktikum berikut. Periksa apakah tujuan jelas, K3 spesifik, prosedur aman, tabel data sesuai, pertanyaan analisis menghubungkan data dengan konsep, dan kesimpulan berbasis bukti. Berikan daftar revisi.”

Prompt evaluasi harus meminta AI mencari kelemahan, bukan hanya memuji.

3.9.17 Template Prompt Simulasi, Praktikum, dan Eksperimen

Template simulasi:

“Bertindaklah sebagai guru kimia [jenjang] dan perancang pembelajaran berbasis simulasi. Buat aktivitas simulasi tentang [topik]. Tujuan pembelajaran: [tujuan]. Simulasi menampilkan [fitur]. Aktivitas harus memuat prediksi, instruksi pengamatan, tabel data, pertanyaan analisis, hubungan makro-submikro-simbolik, miskonsepsi yang perlu dihindari, refleksi batas model, dan asesmen formatif.”

Template praktikum:

“Bertindaklah sebagai guru kimia [jenjang] dan perancang praktikum aman. Buat LKPD praktikum tentang [topik]. Tujuan: [tujuan]. Durasi: [durasi]. Alat-bahan yang tersedia: [daftar]. Batasi pada prosedur aman, bahan berisiko rendah, dan pengawasan guru. LKPD harus memuat judul, tujuan, prinsip, variabel, alat-bahan, K3 spesifik, prosedur, tabel data, pertanyaan analisis, sumber kesalahan, kesimpulan berbasis data, refleksi, dan rubrik singkat.”

Template eksperimen:

“Rancang eksperimen kimia untuk menguji [hubungan variabel]. Jenjang: [jenjang]. Eksperimen harus aman, realistis, dan hanya mengubah satu variabel bebas. Tuliskan rumusan masalah, hipotesis, variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, alat-bahan, K3, prosedur, tabel data, cara analisis, kemungkinan sumber kesalahan, dan pertanyaan refleksi.”

Template evaluasi keselamatan:

“Tinjau rancangan praktikum berikut. Identifikasi risiko keselamatan, bahan yang perlu diganti, prosedur yang perlu disederhanakan, kebutuhan APD, pengelolaan limbah, dan bagian yang tidak sesuai jenjang. Berikan revisi aman.”

3.9.18 Contoh Prompt Lengkap: Praktikum Elektrolit

Contoh prompt lengkap:

“Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas X dan perancang praktikum aman. Buat LKPD praktikum uji daya hantar larutan elektrolit dan nonelektrolit. Tujuan: siswa mampu membedakan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit berdasarkan data nyala lampu dan gelembung serta menjelaskan perbedaan jumlah ion bebas dalam larutan. Gunakan alat uji sederhana dengan baterai tegangan rendah, bukan listrik PLN. Larutan contoh: NaCl encer, cuka encer, gula, dan air.

LKPD harus memuat judul, tujuan, konsep singkat, prediksi, alat-bahan, K3 spesifik, prosedur, tabel data, pertanyaan analisis, representasi partikel, persamaan disosiasi sederhana, miskonsepsi yang perlu dihindari, sumber kesalahan, kesimpulan berbasis data, refleksi, dan rubrik singkat."

Prompt ini sudah memuat keselamatan, konsep, data, dan miskonsepsi. Guru tetap harus memeriksa prosedur teknis alat uji dan memastikan larutan aman.

3.9.19 Contoh Prompt Lengkap: Simulasi Kesetimbangan

Contoh prompt lengkap:

"Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas XI. Buat LKPD berbasis simulasi tentang kesetimbangan dinamis. Simulasi memperlihatkan reaksi maju dan balik, perubahan konsentrasi reaktan-produk terhadap waktu, dan respons sistem terhadap penambahan reaktan. Tujuan: siswa mampu menjelaskan bahwa pada kesetimbangan reaksi maju dan balik tetap berlangsung dengan laju yang sama serta konsentrasi tampak konstan. Target miskonsepsi: reaksi berhenti pada setimbang dan jumlah reaktan-produk harus sama. LKPD harus memuat prediksi, instruksi pengamatan, tabel data, pertanyaan analisis grafik, pertanyaan klaim-bukti-alasan, klarifikasi miskonsepsi, refleksi batas simulasi, dan exit ticket."

Prompt ini cocok untuk aktivitas virtual atau simulasi kelas. Guru dapat menyesuaikan dengan simulasi yang tersedia.

3.9.20 Validasi Akhir Rancangan Praktikum dan Eksperimen

Validasi akhir adalah tahap wajib. Guru tidak boleh menggunakan rancangan praktikum dari AI tanpa pemeriksaan. Validasi harus mencakup aspek berikut:

1. **Akurasi konsep**
   Apakah prinsip kimia yang digunakan benar?
2. **Keselamatan**
   Apakah bahan aman? Apakah prosedur berisiko? Apakah APD disebutkan? Apakah ada risiko gas, api, tekanan, panas, listrik, atau tumpahan?
3. **Kesesuaian jenjang**
   Apakah aktivitas sesuai usia dan kemampuan siswa?
4. **Ketersediaan alat-bahan**
   Apakah alat dan bahan tersedia di sekolah?
5. **Kejelasan variabel**
   Apakah variabel bebas, terikat, dan kontrol jelas?
6. **Kualitas data**
   Apakah data dapat dikumpulkan secara realistis?
7. **Pertanyaan analisis**
   Apakah pertanyaan menghubungkan data dengan konsep?
8. **Pengelolaan limbah**
   Apakah limbah ditangani sesuai arahan guru/laboran?

9. **Durasi**
   Apakah aktivitas selesai dalam waktu pembelajaran?
10. **Miskonsepsi**
    Apakah aktivitas menghindari atau meluruskan miskonsepsi?

Daftar cek ini harus digunakan sebelum praktikum. Jika ada risiko, guru harus merevisi atau mengganti aktivitas. Dalam pembelajaran kimia, keselamatan selalu lebih penting daripada efek visual atau daya tarik eksperimen.

Dengan demikian, prompt untuk simulasi, praktikum, dan eksperimen kimia harus dirancang secara spesifik, aman, dan pedagogis. AI dapat membantu menyusun skenario simulasi, LKPD praktikum, rancangan eksperimen, tabel data, pertanyaan analisis, rubrik, dan refleksi. Namun, semua hasil harus divalidasi oleh guru atau laboran. Simulasi harus dipahami sebagai model, praktikum harus berbasis keselamatan, dan eksperimen harus mengembangkan penalaran ilmiah. Dengan prompt yang tepat, AI dapat menjadi mitra dalam merancang pengalaman belajar kimia yang aktif, bermakna, berbasis bukti, dan bertanggung jawab.

3.10 Evaluasi, Perbaikan, dan Iterasi Prompt dalam Pembelajaran Kimia

Evaluasi, perbaikan, dan iterasi prompt merupakan tahap penting dalam pemanfaatan AI untuk pembelajaran kimia. Prompt yang baik jarang lahir dalam satu kali perintah. Dalam praktiknya, guru sering memperoleh keluaran AI yang masih terlalu umum, kurang sesuai jenjang, tidak fokus pada tujuan pembelajaran, belum mengantisipasi miskonsepsi, atau bahkan memuat kesalahan konsep kimia. Oleh karena itu, penggunaan AI dalam pembelajaran kimia harus dipahami sebagai proses berulang: menyusun prompt awal, membaca hasil, mengevaluasi kualitas, memperbaiki instruksi, meminta revisi, memvalidasi kembali, dan menyesuaikan dengan konteks kelas.

Dalam pembelajaran kimia, iterasi prompt sangat penting karena kimia memiliki karakter konsep yang kompleks, abstrak, dan multirepresentasional. AI dapat menghasilkan uraian yang terdengar meyakinkan, tetapi belum tentu benar secara kimia. Misalnya, AI dapat menyederhanakan bahwa katalis “menggeser reaksi ke produk”, menjelaskan elektrolit dengan “elektron bebas dalam larutan”, atau menyebut asam kuat sebagai asam yang “lebih pekat”. Kesalahan semacam ini berbahaya karena dapat memperkuat miskonsepsi. Karena itu, prompt tidak boleh hanya difokuskan pada kelancaran bahasa atau keindahan format, tetapi harus selalu disertai mekanisme evaluasi konsep, validasi representasi, dan revisi pedagogis.

Evaluasi prompt berbeda dari evaluasi hasil AI biasa. Evaluasi prompt menilai apakah instruksi yang diberikan kepada AI sudah cukup jelas, spesifik, terarah, dan sesuai tujuan. Jika hasil AI buruk, penyebabnya tidak selalu kemampuan AI semata, tetapi bisa juga karena prompt kurang lengkap. Prompt yang hanya berbunyi “buatkan materi asam-basa” akan menghasilkan keluaran yang luas dan generik. Sebaliknya, prompt yang menyebut jenjang, tujuan, batas materi, miskonsepsi, bentuk produk, format, aktivitas siswa, asesmen, dan kriteria validasi akan menghasilkan keluaran yang lebih berguna. Dengan kata lain, kualitas prompt sangat memengaruhi kualitas produk pembelajaran berbantuan AI.

3.10.1 Hakikat Evaluasi Prompt dalam Pembelajaran Kimia

Evaluasi prompt adalah proses menilai apakah prompt mampu menghasilkan keluaran yang sesuai dengan kebutuhan pembelajaran. Dalam pembelajaran kimia, evaluasi prompt harus mencakup dua aspek besar: aspek teknis prompt dan aspek pedagogis-kimiawi. Aspek teknis mencakup kejelasan instruksi, kelengkapan konteks, batasan tugas, format output, dan urutan kerja. Aspek pedagogis-kimiawi mencakup kesesuaian dengan tujuan pembelajaran, akurasi konsep, representasi kimia, jenjang siswa, aktivitas belajar, asesmen, keselamatan, dan etika.

Prompt yang baik memiliki beberapa ciri. Pertama, prompt menyebut **peran AI** secara jelas, misalnya "bertindaklah sebagai guru kimia SMA dan ahli asesmen". Kedua, prompt menyebut **produk yang diminta**, misalnya modul, LKPD, rubrik, soal diagnostik, skenario diskusi, atau bahan remedial. Ketiga, prompt menyebut **tujuan pembelajaran**. Keempat, prompt menyebut **jenjang dan karakter siswa**. Kelima, prompt memberi **batas materi** agar AI tidak melebar. Keenam, prompt menyebut **format keluaran**. Ketujuh, prompt menyebut **kriteria kualitas**, seperti akurasi konsep, representasi makro-submikro-simbolik, miskonsepsi, keselamatan, dan asesmen formatif.

Evaluasi prompt perlu dilakukan setelah keluaran AI dibaca. Guru dapat bertanya: apakah hasil AI sesuai dengan yang saya butuhkan? Apakah ada bagian yang terlalu umum? Apakah konsep kimia benar? Apakah urutan materi logis? Apakah siswa akan aktif? Apakah ada asesmen? Apakah ada risiko miskonsepsi? Apakah prompt saya sudah meminta semua hal penting? Jika hasil belum sesuai, guru perlu memperbaiki prompt, bukan langsung menerima hasil AI.

Dalam pembelajaran kimia, evaluasi prompt juga harus mempertimbangkan tujuan jangka panjang. Guru tidak hanya ingin menghasilkan satu teks, tetapi ingin membangun pola kerja yang dapat digunakan berulang. Oleh karena itu, prompt yang sudah baik sebaiknya disimpan sebagai template. Template tersebut dapat digunakan untuk topik lain dengan mengganti variabel seperti jenjang, topik, tujuan, dan miskonsepsi.

3.10.2 Mengapa Iterasi Prompt Diperlukan dalam Kimia

Iterasi prompt diperlukan karena hasil awal AI sering masih berupa draf mentah. Pada tahap pertama, AI mungkin menghasilkan struktur umum. Pada tahap kedua, guru meminta penajaman konsep. Pada tahap ketiga, guru meminta penyesuaian jenjang. Pada tahap keempat, guru meminta penambahan asesmen atau rubrik. Pada tahap kelima, guru meminta evaluasi miskonsepsi dan keselamatan. Proses bertahap ini lebih efektif daripada meminta semua hasil sempurna dalam satu prompt panjang.

Kimia membutuhkan iterasi karena banyak konsep memiliki batas makna yang halus. Misalnya, perbedaan asam kuat dan asam pekat membutuhkan penjelasan yang cermat. Perbedaan elektrolit kuat dan larutan pekat juga perlu dibedakan. Kesetimbangan dinamis memerlukan penjelasan bahwa reaksi tetap berlangsung, tetapi konsentrasi tampak konstan. Jika prompt tidak menegaskan batas-batas ini, AI dapat menghasilkan penjelasan yang terlalu sederhana.

Iterasi juga diperlukan karena bahan ajar harus sesuai dengan konteks kelas. AI tidak mengetahui secara langsung kondisi laboratorium, jumlah siswa, waktu pembelajaran, alat-bahan, kemampuan awal, atau kebijakan sekolah. Prompt pertama mungkin menghasilkan LKPD yang ideal tetapi

tidak realistis. Guru perlu mengoreksi dengan prompt lanjutan: “sederhanakan untuk durasi 45 menit”, “gunakan alat-bahan yang tersedia”, “hindari eksperimen yang memerlukan pemanasan”, atau “buat versi tanpa internet”.

Iterasi prompt juga berguna untuk memperbaiki gaya bahasa. AI kadang menghasilkan teks terlalu akademis untuk siswa SMA, atau terlalu sederhana untuk mahasiswa. Guru dapat meminta revisi: “gunakan bahasa siswa SMA kelas X”, “pertahankan akurasi ilmiah tetapi sederhanakan kalimat”, atau “tambahkan contoh lokal”. Dengan demikian, iterasi prompt menjadi bagian dari desain pedagogis.

3.10.3 Langkah-Langkah Evaluasi Prompt

Evaluasi prompt dapat dilakukan melalui beberapa langkah. Langkah pertama adalah **membandingkan keluaran dengan tujuan awal**. Jika tujuan prompt adalah membuat LKPD inkuiri, tetapi hasil AI hanya berupa ringkasan materi dan soal, maka prompt belum berhasil. Guru perlu memperjelas bahwa LKPD harus memuat aktivitas siswa, prediksi, data, analisis, dan kesimpulan.

Langkah kedua adalah **memeriksa akurasi konsep kimia**. Guru harus membaca hasil AI secara kritis. Periksa definisi, contoh, rumus, persamaan reaksi, simbol, muatan ion, satuan, grafik, dan penjelasan sebab-akibat. Jika ada kesalahan konsep, guru perlu memperbaiki hasil dan juga memperbaiki prompt agar kesalahan tidak berulang.

Langkah ketiga adalah **memeriksa kesesuaian jenjang**. Apakah bahasa, kedalaman konsep, dan jenis aktivitas sesuai dengan siswa? Jika terlalu sulit, prompt perlu meminta penyederhanaan. Jika terlalu dangkal, prompt perlu meminta pendalaman.

Langkah keempat adalah **memeriksa struktur pedagogis**. Apakah ada apersepsi, tujuan, aktivitas, latihan, asesmen, refleksi, dan tindak lanjut? Apakah alur dari prasyarat ke konsep inti sudah logis? Apakah siswa aktif?

Langkah kelima adalah **memeriksa representasi kimia**. Apakah hasil AI mengaitkan fenomena makroskopik, level partikel, dan simbol? Jika tidak, prompt perlu ditambah: “hubungkan makroskopik, submikroskopik, dan simbolik”.

Langkah keenam adalah **memeriksa miskonsepsi**. Apakah hasil AI mengantisipasi miskonsepsi umum? Apakah ada kalimat yang dapat menimbulkan miskonsepsi baru? Jika ada, prompt perlu meminta bagian klarifikasi miskonsepsi.

Langkah ketujuh adalah **memeriksa keselamatan** jika produk terkait praktikum. Apakah K3 spesifik? Apakah alat-bahan aman? Apakah prosedur realistis? Apakah limbah disebutkan? Jika tidak, prompt harus direvisi.

Langkah kedelapan adalah **memeriksa format dan kegunaan**. Apakah output mudah digunakan guru? Apakah tabel jelas? Apakah rubrik operasional? Apakah soal dilengkapi kunci? Apakah LKPD dapat langsung diuji?

3.10.4 Rubrik Evaluasi Prompt Pembelajaran Kimia

Guru dapat menggunakan rubrik sederhana untuk mengevaluasi prompt. Rubrik ini menilai kualitas prompt sebelum dan sesudah digunakan.

Aspek Prompt	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Kejelasan tujuan	Tujuan sangat spesifik dan terukur	Tujuan cukup jelas	Tujuan masih umum	Tujuan tidak jelas
Konteks pembelajaran	Jenjang, durasi, karakter siswa, dan kondisi kelas jelas	Sebagian besar konteks jelas	Konteks terbatas	Tidak ada konteks
Batas materi	Batas materi sangat jelas	Batas cukup jelas	Batas masih luas	Tidak ada batas
Format output	Format sangat rinci dan mudah diikuti	Format cukup jelas	Format kurang rinci	Tidak menyebut format
Akurasi kimia	Prompt meminta validasi konsep dan miskonsepsi	Prompt menyebut akurasi konsep	Akurasi tidak ditekankan	Tidak ada kontrol konsep
Representasi kimia	Meminta hubungan makro-submikro-simbolik	Meminta sebagian representasi	Representasi kurang jelas	Tidak ada representasi
Aktivitas belajar	Meminta aktivitas siswa yang aktif dan terarah	Aktivitas cukup jelas	Aktivitas umum	Tidak meminta aktivitas
Asesmen	Meminta asesmen, kunci, rubrik, atau umpan balik	Meminta asesmen sederhana	Asesmen kurang jelas	Tidak ada asesmen
Keselamatan	K3 sangat jelas jika praktikum	K3 disebut umum	K3 kurang lengkap	Tidak ada K3
Etika AI	Meminta transparansi/verifikasi jika relevan	Etika disebut umum	Etika kurang jelas	Tidak ada etika

Rubrik ini dapat digunakan mahasiswa calon guru untuk menilai prompt mereka sendiri. Dengan rubrik ini, mereka belajar bahwa prompt bukan sekadar perintah singkat, tetapi rancangan instruksional.

3.10.5 Evaluasi Output AI sebagai Dasar Perbaikan Prompt

Setelah prompt digunakan, guru perlu mengevaluasi output AI. Output AI dapat dinilai dengan daftar cek. Jika output lemah, guru perlu menelusuri apakah kelemahan berasal dari prompt atau dari keterbatasan AI. Misalnya, jika output tidak memuat K3, mungkin prompt tidak meminta K3. Jika output terlalu umum, mungkin prompt tidak memberi batas topik. Jika output salah konsep, prompt perlu meminta validasi atau guru perlu memperbaiki secara manual.

Contoh evaluasi output:

Prompt awal: “Buat LKPD elektrolit.”
Output AI: berisi definisi elektrolit, tabel contoh, dan soal pilihan ganda.
Evaluasi: output belum menjadi LKPD inkuiri karena tidak memuat prediksi, prosedur, data, analisis, K3, atau kesimpulan berbasis data.
Prompt revisi: “Buat LKPD inkuiri terbimbing uji daya hantar larutan elektrolit dan nonelektrolit untuk siswa SMA kelas X. Sertakan tujuan, fenomena pemantik, prediksi, alat-bahan, K3, prosedur aman dengan baterai tegangan rendah, tabel data, pertanyaan analisis ion, representasi partikel, miskonsepsi, kesimpulan, dan refleksi.”

Dari contoh ini terlihat bahwa perbaikan prompt meningkatkan kualitas output.

Evaluasi output juga dapat dilakukan dengan prinsip “apa yang hilang, apa yang salah, apa yang berlebihan, dan apa yang perlu disesuaikan”. Guru dapat menulis catatan:

1. Bagian yang sudah baik.
2. Bagian yang salah konsep.
3. Bagian yang belum sesuai tujuan.
4. Bagian yang terlalu sulit atau terlalu mudah.
5. Bagian yang perlu ditambahkan.
6. Bagian yang perlu dihapus.
7. Instruksi revisi untuk AI.

Catatan ini kemudian diubah menjadi prompt lanjutan.

3.10.6 Strategi Perbaikan Prompt

Perbaikan prompt dapat dilakukan dengan beberapa strategi. Strategi pertama adalah **menambahkan konteks**. Jika output terlalu umum, tambahkan jenjang, durasi, tujuan, karakter siswa, dan alat-bahan. Misalnya: “untuk siswa SMA kelas X, durasi 2 x 45 menit, kelas heterogen, alat laboratorium terbatas”.

Strategi kedua adalah **memperjelas produk**. Jika output tidak sesuai format, sebutkan format yang diinginkan. Misalnya: “sajikan dalam tabel dengan kolom tahap, aktivitas guru, aktivitas siswa, pertanyaan, dan asesmen”.

Strategi ketiga adalah **membatasi cakupan**. Jika output terlalu luas, tulis batas materi. Misalnya: “fokus pada konsep kesetimbangan dinamis, belum membahas perhitungan Kc secara mendalam”.

Strategi keempat adalah **menambahkan kriteria kualitas**. Misalnya: “pastikan menghubungkan makroskopik, submikroskopik, dan simbolik”, “sertakan miskonsepsi umum”, “sertakan kunci dan rubrik”.

Strategi kelima adalah **meminta revisi spesifik**. Daripada menulis “perbaiki”, lebih baik menulis: “revisi bagian pertanyaan analisis agar lebih menuntut siswa menggunakan data, bukan hanya mengulang teori”.

Strategi keenam adalah **meminta AI mengkritik outputnya sendiri**. Misalnya: “tinjau hasil di atas dan identifikasi potensi kesalahan konsep, miskonsepsi, dan bagian yang terlalu umum”.

Strategi ketujuh adalah **menggunakan contoh**. Jika guru memiliki format yang diinginkan, berikan contoh struktur. AI lebih mudah mengikuti pola jika diberi contoh.

Strategi kedelapan adalah **memecah tugas besar menjadi bagian kecil**. Daripada meminta satu modul lengkap sekaligus, guru dapat meminta struktur dulu, kemudian mengembangkan tiap bagian.

3.10.7 Iterasi Prompt Bertahap

Iterasi prompt bertahap merupakan strategi yang sangat baik untuk tugas kompleks. Dalam pengembangan bahan ajar kimia, guru dapat menggunakan urutan berikut:

1. Prompt 1: meminta kerangka.
2. Prompt 2: meminta pengembangan bagian tertentu.
3. Prompt 3: meminta penambahan representasi kimia.
4. Prompt 4: meminta penambahan miskonsepsi dan klarifikasi.
5. Prompt 5: meminta asesmen formatif.
6. Prompt 6: meminta rubrik.
7. Prompt 7: meminta validasi konsep dan keselamatan.
8. Prompt 8: meminta penyederhanaan bahasa sesuai jenjang.
9. Prompt 9: meminta versi final.

Contoh alur:

Prompt 1:
“Susun kerangka LKPD inkuiri tentang elektrolit untuk siswa SMA kelas X.”

Prompt 2:
“Kembangkan bagian fenomena pemantik, prediksi, dan prosedur aman.”

Prompt 3:
“Tambahkan pertanyaan yang menghubungkan data nyala lampu dengan jumlah ion bebas.”

Prompt 4:
“Tambahkan bagian miskonsepsi: elektron bergerak dalam larutan dan semua zat larut menghantarkan listrik.”

Prompt 5:
“Buat rubrik penilaian LKPD dan exit ticket.”

Prompt 6:
“Tinjau seluruh LKPD dari aspek keselamatan, akurasi konsep, dan kelayakan waktu 45 menit.”

Alur bertahap ini memberi kontrol lebih besar kepada guru. Hasilnya biasanya lebih baik daripada satu prompt panjang.

3.10.8 Teknik Prompt Revisi: Tambah, Kurangi, Ganti, Tegaskan

Perbaikan prompt dapat menggunakan teknik sederhana: tambah, kurangi, ganti, dan tegaskan.

Tambah digunakan jika output kurang lengkap. Misalnya: “Tambahkan bagian asesmen formatif dan umpan balik.”
Kurangi digunakan jika output terlalu panjang atau terlalu luas. Misalnya: “Kurangi penjelasan teori dan fokus pada aktivitas siswa.”
Ganti digunakan jika bagian tertentu tidak sesuai. Misalnya: “Ganti contoh eksperimen dengan bahan yang lebih aman dan tersedia di sekolah.”
Tegaskan digunakan jika AI mengabaikan instruksi penting. Misalnya: “Tegaskan bahwa pembawa muatan dalam larutan adalah ion, bukan elektron bebas.”

Contoh:

Output AI membuat praktikum elektrolit tetapi tidak menyebut keselamatan listrik. Prompt revisi:

“Tambahkan bagian K3 yang spesifik untuk praktikum uji elektrolit. Tegaskan bahwa alat menggunakan baterai tegangan rendah, bukan listrik PLN. Sertakan instruksi tangan kering, kabel terisolasi, tidak menyentuh elektroda saat alat aktif, dan pembersihan elektroda antar larutan.”

Output AI membuat soal HOTS tetapi masih hafalan. Prompt revisi:

“Ganti soal nomor 2 dan 3 agar benar-benar HOTS. Gunakan stimulus data atau klaim, minta siswa menganalisis atau mengevaluasi, dan sertakan rubrik argumentasi.”

Teknik ini membantu guru memberi instruksi revisi yang lebih presisi.

3.10.9 Evaluasi Akurasi Konsep Kimia dalam Output AI

Evaluasi akurasi konsep adalah tahap paling penting. Guru harus memeriksa apakah output AI sesuai dengan konsep kimia yang benar. Beberapa area rawan kesalahan antara lain:

1. Elektrolit dan pembawa muatan.
2. Asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer.
3. Kesetimbangan dinamis dan peran katalis.
4. Elektrokimia, anode-katode, dan arah elektron.
5. Ikatan kimia dan gaya antarmolekul.
6. Perubahan wujud dan pemutusan ikatan.
7. Stoikiometri dan satuan.
8. pH asam lemah dan basa lemah.
9. Struktur molekul dan polaritas.
10. Persamaan reaksi dan muatan ion.

Prompt evaluasi konsep:

“Tinjau teks berikut dari aspek akurasi konsep kimia. Identifikasi pernyataan yang salah, terlalu menyederhanakan, atau berpotensi menimbulkan miskonsepsi. Berikan revisi yang benar dan alasan ilmiahnya.”

Namun, guru tidak boleh hanya mengandalkan AI untuk memeriksa AI. Guru harus membandingkan dengan buku teks, literatur pendidikan kimia, atau sumber ilmiah valid.

3.10.10 Evaluasi Representasi Kimia

Representasi kimia merupakan aspek khas pembelajaran kimia. Output AI sering terlalu verbal dan kurang menghubungkan fenomena, partikel, dan simbol. Guru perlu mengevaluasi apakah bahan ajar atau aktivitas sudah mencakup tiga level representasi.

Prompt evaluasi:

“Tinjau bahan ajar berikut. Periksa apakah sudah menghubungkan representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Jika belum, tambahkan bagian yang menjelaskan fenomena yang diamati, proses pada level partikel, dan simbol/persamaan kimia yang sesuai.”

Contoh pada elektrolit:

- Makroskopik: lampu menyala terang.
- Submikroskopik: banyak ion Na^+ dan Cl^- bergerak bebas.
- Simbolik: $NaCl(s) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$.

Contoh pada pengendapan:

- Makroskopik: terbentuk endapan putih.
- Submikroskopik: ion Ag^+ dan Cl^- bergabung membentuk padatan AgCl.
- Simbolik: $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$.

Jika output AI hanya menulis definisi, guru perlu meminta revisi agar representasi lebih lengkap.

3.10.11 Evaluasi Keselamatan Prompt Praktikum

Prompt untuk praktikum harus dievaluasi dari sisi keselamatan. AI dapat menyarankan bahan atau prosedur yang kurang aman, terutama jika prompt tidak memberi batas. Guru harus selalu menambahkan instruksi: aman, sesuai jenjang, bahan berisiko rendah, pengawasan guru, K3, dan pengelolaan limbah.

Prompt evaluasi keselamatan:

“Tinjau rancangan praktikum berikut dari aspek keselamatan. Identifikasi bahan/prosedur yang berisiko, bagian K3 yang kurang, kebutuhan APD, risiko listrik/panas/gas/tumpahan, dan

pengelolaan limbah. Revisi agar aman untuk siswa SMA dan realistis dilakukan di laboratorium sekolah."

Untuk eksperimen rumah, prompt harus lebih ketat:

"Revisi aktivitas ini agar sangat aman sebagai aktivitas rumah. Hindari api, pemanasan, bahan korosif, gas berbahaya, pencampuran bahan pembersih, tekanan, dan prosedur yang memerlukan alat laboratorium. Gunakan hanya observasi sederhana dan bahan aman. Sertakan pengawasan orang dewasa."

Guru tetap harus memutuskan apakah aktivitas layak dilakukan.

3.10.12 Evaluasi Kesesuaian Jenjang dan Bahasa

Output AI sering terlalu akademis atau terlalu populer. Guru perlu mengevaluasi apakah bahasa sesuai dengan siswa. Dalam kimia, penyederhanaan bahasa harus tetap menjaga akurasi. Misalnya, tidak tepat mengatakan "atom ingin stabil" tanpa menjelaskan bahwa itu hanya cara sederhana dan bukan kehendak atom. Tidak tepat mengatakan "asam kuat adalah asam yang sangat banyak" karena mencampur kekuatan dan konsentrasi.

Prompt revisi bahasa:

"Sederhanakan teks ini untuk siswa SMA kelas X tanpa menghilangkan akurasi konsep kimia. Hindari istilah teknis yang belum diperlukan. Jika menggunakan analogi, jelaskan batas analoginya."

Atau:

"Revisi penjelasan ini agar lebih akademik untuk mahasiswa calon guru kimia. Tambahkan istilah pedagogis seperti miskonsepsi, representasi submikroskopik, dan asesmen formatif."

Bahasa harus disesuaikan dengan tujuan pembaca.

3.10.13 Evaluasi Aktivitas Siswa dalam Output AI

Bahan ajar berbantuan AI sering masih dominan ceramah. Guru perlu memeriksa apakah siswa benar-benar aktif. Aktivitas siswa dapat berupa prediksi, observasi, diskusi, menggambar partikel, menganalisis data, membuat klaim-bukti-alasan, mengerjakan soal, merefleksi, atau mempresentasikan.

Prompt evaluasi aktivitas:

"Tinjau rancangan pembelajaran berikut. Identifikasi bagian yang masih pasif. Revisi agar siswa lebih aktif melalui prediksi, diskusi kelompok, analisis data, representasi partikel, dan exit ticket."

Jika output AI hanya berisi "guru menjelaskan", guru dapat meminta:

“Ubah bagian ini menjadi aktivitas siswa. Guru hanya memberi stimulus dan pertanyaan pemandu. Siswa harus bekerja dalam kelompok, menganalisis data, dan menyusun kesimpulan.”

Dengan demikian, prompt membantu menggeser pembelajaran dari teacher-centered ke student-centered.

3.10.14 Evaluasi Asesmen dalam Output AI

Output AI kadang membuat bahan ajar tanpa asesmen. Guru perlu memastikan setiap bahan ajar memiliki asesmen formatif atau tugas evaluasi. Asesmen harus sesuai tujuan, bukan sekadar soal hafalan.

Prompt evaluasi asesmen:

“Tinjau asesmen dalam bahan ajar ini. Periksa apakah soal sesuai tujuan pembelajaran, mencakup konsep, representasi, data, dan miskonsepsi. Revisi soal agar mencakup satu soal konseptual, satu soal berbasis data, satu soal miskonsepsi, dan satu soal refleksi.”

Jika soal terlalu mudah:

“Naikkan kualitas soal menjadi level analisis dan evaluasi. Gunakan stimulus data atau klaim. Sertakan kunci, rubrik, dan umpan balik.”

Jika soal tidak memiliki kunci:

“Tambahkan kunci jawaban, pembahasan, analisis distraktor, dan umpan balik untuk setiap soal.”

Evaluasi asesmen memastikan bahan ajar dapat memantau pemahaman siswa.

3.10.15 Dokumentasi Iterasi Prompt

Dokumentasi iterasi prompt penting dalam pembelajaran dan penelitian. Guru atau mahasiswa calon guru perlu mencatat prompt awal, output AI, kelemahan yang ditemukan, prompt revisi, output revisi, dan keputusan final. Dokumentasi ini menunjukkan proses berpikir kritis dan integritas akademik.

Format dokumentasi:

Tahap	Prompt	Output Singkat	Masalah yang Ditemukan	Revisi Prompt	Keputusan
1	Buat LKPD elektrolit	LKPD terlalu umum	Tidak ada K3 dan analisis ion	Tambahkan K3, data, representasi	Revisi
2	Revisi LKPD dengan K3	Lebih lengkap	Pertanyaan masih hafalan	Tambahkan analisis data dan miskonsepsi	Revisi
3	Tambahkan asesmen	Baik	Perlu rubrik	Tambahkan rubrik	Final sementara

Dokumentasi seperti ini dapat digunakan dalam portofolio calon guru kimia. Ini menunjukkan bahwa mahasiswa tidak menyalin output AI, tetapi mengevaluasi dan memperbaiki.

3.10.16 Prompt untuk Refleksi Penggunaan AI

Refleksi membantu guru dan mahasiswa memahami proses penggunaan AI. Prompt refleksi dapat membantu menyusun pertanyaan metakognitif.

Contoh prompt:

"Buat pertanyaan refleksi untuk mahasiswa calon guru setelah menggunakan AI untuk membuat LKPD kimia. Pertanyaan harus mencakup kualitas prompt, kesalahan output AI, revisi yang dilakukan, validasi konsep, keselamatan, etika, dan rencana perbaikan."

Pertanyaan refleksi dapat berupa:

1. Apa tujuan prompt saya?
2. Apakah output AI sesuai tujuan?
3. Kesalahan konsep apa yang saya temukan?
4. Bagian mana yang perlu saya revisi?
5. Bagaimana saya memvalidasi konsep?
6. Apakah ada risiko keselamatan?
7. Apakah saya mendokumentasikan penggunaan AI?
8. Apa yang akan saya ubah pada prompt berikutnya?

Refleksi ini melatih literasi AI dan profesionalisme guru.

3.10.17 Kesalahan Umum dalam Prompt Pembelajaran Kimia

Ada beberapa kesalahan umum dalam prompt pembelajaran kimia. Pertama, prompt terlalu umum, misalnya "buat materi kimia". Kedua, prompt tidak menyebut jenjang. Ketiga, prompt tidak menyebut tujuan pembelajaran. Keempat, prompt tidak memberi batas materi. Kelima, prompt tidak meminta representasi kimia. Keenam, prompt tidak menyebut miskonsepsi. Ketujuh, prompt tidak meminta asesmen. Kedelapan, prompt praktikum tidak menyebut K3. Kesembilan, prompt meminta terlalu banyak hal sekaligus tanpa struktur. Kesepuluh, prompt tidak meminta validasi.

Contoh prompt lemah:

"Buatkan LKPD asam-basa."

Masalah: tidak ada jenjang, tujuan, model, durasi, alat-bahan, K3, bentuk aktivitas, atau asesmen.

Prompt lebih baik:

"Buat LKPD inkuiri terbimbing tentang identifikasi larutan asam dan basa menggunakan indikator alami untuk siswa SMA kelas XI, durasi 45 menit. LKPD harus memuat tujuan, fenomena

pemantik, prediksi, alat-bahan aman, K3, prosedur, tabel pengamatan warna, pertanyaan analisis, konsep indikator, miskonsepsi yang perlu dihindari, kesimpulan, refleksi, dan asesmen formatif."

Perbedaan kualitas prompt menghasilkan perbedaan kualitas output.

3.10.18 Model Siklus Iterasi Prompt dalam Pembelajaran Kimia

Siklus iterasi prompt dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. **Analisis kebutuhan**
   Menentukan topik, tujuan, siswa, dan konteks.
2. **Rancang prompt awal**
   Menulis instruksi dengan peran, tujuan, format, dan batasan.
3. **Hasilkan output AI**
   Membaca keluaran sebagai draf awal.
4. **Evaluasi output**
   Memeriksa konsep, pedagogi, representasi, asesmen, keselamatan, dan etika.
5. **Revisi prompt**
   Menambahkan, mengurangi, mengganti, atau menegaskan instruksi.
6. **Hasilkan output revisi**
   Membandingkan dengan output sebelumnya.
7. **Validasi manusia**
   Memeriksa dengan sumber ilmiah dan konteks kelas.
8. **Implementasi terbatas**
   Menguji di kelas atau pada kelompok kecil.
9. **Refleksi dan dokumentasi**
   Mencatat proses, hasil, dan perbaikan.
10. **Pengembangan template**
    Menyimpan prompt yang berhasil untuk digunakan kembali.

Siklus ini menunjukkan bahwa prompt engineering dalam pembelajaran kimia bukan kegiatan sekali pakai, tetapi praktik desain instruksional yang berkelanjutan.

3.10.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu melihat prompt sebagai bagian dari kompetensi profesional. Prompt yang baik mencerminkan pemahaman guru tentang tujuan, konsep, miskonsepsi, aktivitas, asesmen, keselamatan, dan karakter siswa. Dengan kata lain, kualitas prompt menunjukkan kualitas pedagogical content knowledge guru. AI tidak akan menghasilkan pembelajaran kimia yang baik jika guru tidak memberi arahan yang baik.

Calon guru kimia perlu dilatih mengevaluasi dan mengiterasi prompt. Mereka tidak cukup diminta "menggunakan AI". Mereka perlu diminta membuat prompt, menilai output, menemukan kesalahan, memperbaiki prompt, memvalidasi hasil, dan mendokumentasikan proses. Latihan ini membangun literasi AI yang kritis dan profesional.

Contoh tugas:

“Buat satu prompt untuk menghasilkan LKPD kimia. Jalankan prompt tersebut, evaluasi output menggunakan rubrik, revisi prompt minimal dua kali, dan dokumentasikan perubahan. Lampirkan prompt awal, output awal, catatan evaluasi, prompt revisi, output revisi, dan refleksi.”

Tugas seperti ini mengajarkan bahwa AI bukan jalan pintas, tetapi alat yang perlu dikelola secara kritis.

Dengan demikian, evaluasi, perbaikan, dan iterasi prompt merupakan tahap kunci dalam pemanfaatan AI untuk pembelajaran kimia. Prompt awal jarang sempurna. Guru perlu membaca output AI secara kritis, memeriksa akurasi konsep, menilai kesesuaian pedagogis, memperhatikan representasi, miskonsepsi, keselamatan, asesmen, dan etika, lalu memperbaiki instruksi secara bertahap. Dengan iterasi yang baik, AI dapat menjadi mitra produktif dalam merancang pembelajaran kimia yang akurat, aktif, aman, reflektif, dan bermakna.

Simpulan Bab 3

Bab 3 telah membahas prinsip-prinsip prompt engineering dalam pembelajaran kimia, mulai dari hakikat prompt, struktur prompt yang efektif, peran konteks, format keluaran, pengendalian kualitas, hingga penerapan prompt untuk diskusi kelas, bahan ajar, asesmen, praktikum, dan iterasi. Pembahasan ini menegaskan bahwa prompt engineering bukan sekadar keterampilan menulis perintah kepada AI, melainkan bagian dari desain pembelajaran yang memerlukan pemahaman kimia, pedagogi, asesmen, keselamatan, dan etika.

Dalam pembelajaran kimia, prompt yang baik harus berangkat dari tujuan pembelajaran yang jelas. Guru perlu menentukan apa yang ingin dicapai siswa: memahami konsep, menganalisis data, menghubungkan representasi, menyelesaikan soal, melakukan praktikum, menyusun argumen, atau merefleksikan pembelajaran. Tanpa tujuan yang jelas, output AI cenderung generik dan kurang sesuai kebutuhan kelas. Prompt yang baik juga harus menyebut jenjang, karakter siswa, durasi, model pembelajaran, format produk, dan batas materi.

Bab ini juga menegaskan pentingnya konteks kimia dalam prompt. Kimia memiliki kekhasan berupa tiga level representasi: makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Oleh karena itu, prompt pembelajaran kimia harus meminta AI menghubungkan fenomena yang terlihat, proses pada level partikel, serta simbol, rumus, persamaan, grafik, atau data. Prompt yang hanya meminta penjelasan verbal sering menghasilkan bahan ajar yang kurang mendalam dan berpotensi memperkuat hafalan.

Selain itu, bab ini menunjukkan bahwa prompt harus mengantisipasi miskonsepsi. Banyak konsep kimia rentan disalahpahami, seperti elektrolit, asam kuat, kesetimbangan, katalis, perubahan wujud, ikatan kimia, dan elektrokimia. Guru perlu memasukkan miskonsepsi target ke dalam prompt agar AI membantu menyusun bahan, soal, atau diskusi yang dapat meluruskan pemahaman

siswa. Dengan demikian, prompt tidak hanya menghasilkan konten, tetapi juga membantu diagnosis dan perbaikan konseptual.

Pada bagian prompt untuk skenario diskusi dan aktivitas kelas, bab ini menekankan bahwa AI dapat membantu guru menyusun pertanyaan pemantik, diskusi berbasis fenomena, diskusi berbasis data, argumentasi ilmiah, aktivitas kelompok, simulasi, praktikum mini, studi kasus, dan permainan edukatif. Namun, semua aktivitas harus tetap diarahkan pada konsep inti dan bukan sekadar membuat kelas lebih ramai. Diskusi kelas yang baik harus membantu siswa berpikir, memberi alasan, menggunakan bukti, dan memperbaiki miskonsepsi.

Pada bagian prompt untuk bahan ajar, modul, dan LKPD, bab ini menjelaskan bahwa AI dapat membantu menyusun struktur modul, uraian materi, LKPD inkuiri, LKPD praktikum, bahan remedial, bahan pengayaan, handout, peta konsep, glosarium, latihan bertahap, dan asesmen formatif. Namun, bahan ajar berbantuan AI harus divalidasi dari sisi akurasi konsep, kesesuaian jenjang, alur pedagogis, representasi kimia, dan keselamatan. Modul dan LKPD tidak boleh hanya menjadi teks panjang, tetapi harus mengaktifkan siswa.

Pada bagian prompt untuk soal, rubrik, dan umpan balik, bab ini menunjukkan bahwa AI dapat membantu menyusun asesmen dalam berbagai bentuk: pilihan ganda, pilihan ganda beralasan, two-tier test, three-tier test, soal uraian, soal HOTS, soal berbasis data, soal berbasis grafik, dan soal berbasis praktikum. AI juga dapat membantu membuat rubrik analitik, rubrik praktikum, rubrik proyek, rubrik argumentasi, serta umpan balik adaptif dan bertingkat. Namun, kunci, pembahasan, distraktor, rubrik, dan umpan balik harus selalu diperiksa guru.

Pada bagian prompt untuk simulasi, praktikum, dan eksperimen, bab ini menegaskan bahwa keselamatan merupakan prinsip utama. AI dapat membantu merancang simulasi, demonstrasi, praktikum inkuiri, eksperimen berbasis variabel, praktikum virtual, tabel data, pertanyaan analisis, rubrik, dan refleksi. Namun, semua prosedur eksperimen harus divalidasi guru atau laboran. Prompt praktikum harus menyebut alat-bahan, K3, variabel, prosedur aman, pengelolaan limbah, dan batasan risiko.

Akhirnya, bab ini membahas evaluasi, perbaikan, dan iterasi prompt. Prompt awal jarang sempurna. Guru perlu mengevaluasi output AI, menemukan kelemahan, memperbaiki instruksi, meminta revisi, dan memvalidasi kembali. Iterasi prompt merupakan bagian dari literasi AI profesional. Guru dan calon guru kimia perlu mendokumentasikan prompt awal, output, catatan evaluasi, prompt revisi, dan hasil akhir sebagai bukti penggunaan AI yang kritis dan bertanggung jawab.

Kesimpulan utama Bab 3 adalah bahwa prompt engineering dalam pembelajaran kimia harus dipahami sebagai keterampilan pedagogis, bukan sekadar keterampilan teknis. Prompt yang baik mencerminkan kemampuan guru memahami konsep kimia, kebutuhan siswa, strategi pembelajaran, asesmen, miskonsepsi, keselamatan, dan etika. AI dapat mempercepat dan memperkaya desain pembelajaran, tetapi kualitas akhirnya tetap ditentukan oleh ketajaman prompt, validasi guru, dan proses iterasi yang bertanggung jawab.

Daftar Pustaka Bab 3

Ausubel, D. P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Kluwer Academic Publishers.

Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for quality learning at university* (4th ed.). Open University Press.

Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice, 5*(1), 7–74. https://doi.org/10.1080/0969595980050102

Brookhart, S. M. (2010). *How to assess higher-order thinking skills in your classroom*. ASCD.

Cooper, M. M., & Stowe, R. L. (2018). Chemistry education research—From personal empiricism to evidence, theory, and informed practice. *Chemical Reviews, 118*(12), 6053–6087. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00020

De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science, 340*(6130), 305–308. https://doi.org/10.1126/science.1230579

Erduran, S., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (Eds.). (2008). *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6670-2

Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (Eds.). (2009). *Multiple representations in chemical education*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8

Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research, 77*(1), 81–112. https://doi.org/10.3102/003465430298487

Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education, 70*(9), 701–705. https://doi.org/10.1021/ed070p701

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., Stadler, M., Weller, J., Kuhn, J., & Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences, 103*, 102274. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274

Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.

Merrill, M. D. (2002). First principles of instruction. *Educational Technology Research and Development, 50*(3), 43–59. https://doi.org/10.1007/BF02505024

Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. *Science, 328*(5977), 463–466. https://doi.org/10.1126/science.1183944

Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education, 93*(3), 223–231. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x

Taber, K. S. (2002). *Chemical misconceptions: Prevention, diagnosis and cure*. Royal Society of Chemistry.

Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education, 33*(2), 179–195. https://doi.org/10.1080/09500690903386435

Toulmin, S. E. (2003). *The uses of argument* (Updated ed.). Cambridge University Press.

Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education, 10*(2), 159–169. https://doi.org/10.1080/0950069880100204

UNESCO. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO.

UNESCO. (2024). *AI competency framework for teachers*. UNESCO.

Wiggins, G., & McTighe, J. (2005). *Understanding by design* (Expanded 2nd ed.). ASCD.

BAB 4

AI untuk Pengembangan Bahan Ajar Kimia

4.1 Peran AI dalam Perencanaan Bahan Ajar Kimia

Pengembangan bahan ajar kimia merupakan proses pedagogis yang tidak dapat dipisahkan dari pemahaman terhadap karakter ilmu kimia, kebutuhan peserta didik, tujuan pembelajaran, strategi penyajian konsep, aktivitas belajar, asesmen, dan validasi akurasi ilmiah. Bahan ajar kimia yang baik tidak hanya menyajikan informasi, tetapi juga membantu peserta didik membangun pemahaman konseptual, menghubungkan representasi makroskopik-submikroskopik-simbolik, mengembangkan keterampilan berpikir ilmiah, dan menghindari miskonsepsi. Dalam konteks ini, kecerdasan buatan memiliki peran strategis sebagai alat bantu perencanaan bahan ajar yang dapat mempercepat penyusunan ide, struktur, variasi aktivitas, contoh, latihan, dan asesmen.

AI dapat membantu guru dan dosen merancang bahan ajar kimia sejak tahap awal. Guru dapat menggunakan AI untuk memetakan tujuan pembelajaran, menyusun urutan materi, mengidentifikasi prasyarat konsep, membuat peta konsep, mengembangkan kegiatan pembelajaran, menyusun bahan remedial, menyiapkan pengayaan, membuat pertanyaan formatif, dan menyusun rubrik. Namun, peran AI tetap berada pada posisi asisten intelektual, bukan pengambil keputusan utama. Keputusan tentang apa yang perlu diajarkan, bagaimana urutan materi, seberapa dalam konsep dibahas, dan bagaimana bahan ajar disesuaikan dengan peserta didik tetap berada pada guru sebagai ahli pedagogi dan pengampu kelas.

Dalam pembelajaran kimia, perencanaan bahan ajar memerlukan ketelitian tinggi karena banyak konsep bersifat abstrak dan mudah disalahpahami. Misalnya, ketika guru menyusun bahan ajar tentang larutan elektrolit, guru tidak cukup menjelaskan bahwa elektrolit adalah zat yang dapat menghantarkan listrik dalam larutan. Bahan ajar harus membantu siswa memahami bahwa daya hantar listrik berkaitan dengan keberadaan ion yang bergerak bebas dalam larutan. Jika penjelasan terlalu dangkal, siswa dapat mengira bahwa semua zat yang larut dalam air pasti menghantarkan listrik atau bahwa elektron bergerak bebas di dalam larutan. Karena itu, penggunaan AI dalam perencanaan bahan ajar kimia harus selalu disertai kontrol konsep.

Perencanaan bahan ajar berbantuan AI juga perlu memperhatikan prinsip pembelajaran aktif. Bahan ajar tidak seharusnya hanya berupa teks panjang. Bahan ajar kimia perlu memuat fenomena pemantik, pertanyaan prediksi, aktivitas observasi, analisis data, latihan bertahap, refleksi, dan asesmen formatif. AI dapat membantu menghasilkan variasi komponen tersebut, tetapi guru perlu memastikan bahwa setiap komponen benar-benar mendukung tujuan pembelajaran. Bahan ajar yang tampak lengkap belum tentu efektif jika tidak memiliki alur pedagogis yang jelas.

4.1.1 AI sebagai Asisten Perencanaan Instruksional

AI dapat berperan sebagai asisten perencanaan instruksional dalam pengembangan bahan ajar kimia. Perencanaan instruksional mencakup proses menentukan tujuan pembelajaran, menganalisis karakteristik peserta didik, memilih materi, menyusun aktivitas, menentukan media,

menyiapkan asesmen, dan merancang tindak lanjut. Pada tahap ini, AI dapat membantu guru menghasilkan alternatif rancangan dengan cepat.

Misalnya, guru ingin membuat bahan ajar tentang kesetimbangan kimia. Guru dapat meminta AI menyusun struktur bahan ajar yang dimulai dari reaksi bolak-balik, laju reaksi maju dan balik, keadaan setimbang, konsentrasi konstan, prinsip Le Chatelier, hingga penerapan dalam industri. AI dapat memberi kerangka awal, tetapi guru perlu memeriksa apakah urutannya sesuai kurikulum dan kemampuan siswa. Jika siswa belum memahami laju reaksi, bahan ajar kesetimbangan harus memberi penguatan konsep laju terlebih dahulu.

AI juga dapat membantu memunculkan variasi aktivitas. Guru dapat meminta ide aktivitas berbasis fenomena, diskusi data, simulasi, praktikum mini, studi kasus, atau proyek. Misalnya, pada materi laju reaksi, AI dapat menyarankan aktivitas analisis data reaksi pada suhu berbeda, simulasi teori tumbukan, atau eksperimen aman menggunakan bahan sederhana. Guru kemudian memilih aktivitas yang sesuai dengan fasilitas sekolah, waktu pembelajaran, dan standar keselamatan.

Dalam perencanaan instruksional, AI juga dapat membantu membuat *lesson flow* atau alur pembelajaran. Bahan ajar dapat dirancang dengan struktur: apersepsi, eksplorasi, konseptualisasi, latihan, refleksi, dan asesmen. AI dapat menyusun alur tersebut dalam tabel yang memuat aktivitas guru, aktivitas siswa, media, dan asesmen. Namun, guru tetap perlu menyesuaikan dengan dinamika kelas. AI tidak mengetahui secara langsung kesiapan siswa, budaya kelas, ketersediaan laboratorium, atau kebijakan sekolah.

Peran AI sebagai asisten perencanaan instruksional paling produktif jika guru memberi prompt yang spesifik. Misalnya:

“Bertindaklah sebagai guru kimia SMA dan perancang bahan ajar. Susun rancangan bahan ajar 2 x 45 menit tentang larutan elektrolit dan nonelektrolit. Tujuan: siswa mampu membedakan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit berdasarkan data daya hantar dan jumlah ion bebas. Sertakan prasyarat, apersepsi, aktivitas siswa, penjelasan konsep, latihan, asesmen formatif, miskonsepsi umum, dan tindak lanjut.”

Prompt seperti ini membuat AI bekerja dalam kerangka pedagogis yang jelas.

4.1.2 AI untuk Analisis Kebutuhan Bahan Ajar

Perencanaan bahan ajar harus dimulai dari analisis kebutuhan. Guru perlu memahami apa yang sudah diketahui siswa, konsep apa yang sulit, miskonsepsi apa yang mungkin muncul, materi mana yang membutuhkan visualisasi, dan bentuk bantuan apa yang diperlukan. AI dapat membantu menyusun kerangka analisis kebutuhan berdasarkan topik tertentu.

Pada materi stoikiometri, misalnya, kebutuhan siswa dapat meliputi penguatan konsep mol, kemampuan menyetarakan persamaan reaksi, pemahaman perbandingan koefisien, konversi massa ke mol, dan penggunaan satuan. Pada materi asam-basa, kebutuhan siswa dapat meliputi perbedaan asam kuat dan lemah, perbedaan kekuatan dan konsentrasi, pemahaman pH, indikator, serta titrasi. AI dapat membantu guru memetakan kebutuhan tersebut.

Contoh prompt:

“Buat analisis kebutuhan bahan ajar untuk materi stoikiometri kelas X SMA. Analisis harus mencakup prasyarat konsep, kesulitan umum siswa, miskonsepsi yang mungkin muncul, kemampuan matematika yang diperlukan, representasi kimia yang perlu ditekankan, dan rekomendasi struktur bahan ajar.”

Hasil dari AI dapat menjadi draf awal. Guru kemudian menyesuaikan berdasarkan pengalaman kelas. Jika guru mengetahui bahwa siswanya lemah pada konsep perbandingan mol, bahan ajar perlu memuat latihan tambahan. Jika siswa kesulitan membaca persamaan reaksi, bahan ajar harus memuat bagian khusus tentang makna koefisien dan indeks.

Analisis kebutuhan juga dapat dilakukan berdasarkan data asesmen. Misalnya, jika hasil kuis menunjukkan bahwa 60% siswa salah memahami ion dalam larutan, guru dapat meminta AI membuat bahan ajar remedial tentang ion dan daya hantar listrik. Dalam hal ini, AI membantu mengubah data asesmen menjadi bahan ajar yang lebih tepat sasaran.

Prompt berbasis data:

“Berdasarkan hasil diagnostik berikut: 60% siswa mengira semua zat larut menghantarkan listrik, 40% siswa mengira elektron bergerak dalam larutan, dan 30% siswa salah menulis persamaan disosiasi. Buat rancangan bahan ajar remedial tentang larutan elektrolit selama 45 menit.”

Dengan demikian, AI dapat membantu perencanaan bahan ajar berbasis kebutuhan nyata, bukan sekadar berdasarkan daftar materi.

4.1.3 AI untuk Menentukan Tujuan dan Indikator Pembelajaran

Tujuan pembelajaran merupakan dasar pengembangan bahan ajar. Tanpa tujuan yang jelas, bahan ajar dapat menjadi kumpulan informasi yang tidak terarah. AI dapat membantu guru merumuskan tujuan pembelajaran dan indikator, tetapi guru harus memastikan bahwa rumusan tersebut sesuai dengan kurikulum, jenjang, dan capaian yang diharapkan.

Tujuan pembelajaran kimia sebaiknya tidak hanya menggunakan kata kerja umum seperti “memahami” tanpa indikator yang terukur. Tujuan perlu menjelaskan kemampuan yang dapat diamati. Misalnya, daripada menulis “siswa memahami larutan elektrolit”, lebih baik menulis “siswa mampu menjelaskan perbedaan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit berdasarkan jumlah ion bebas dan data uji daya hantar listrik.” Rumusan kedua lebih operasional dan dapat digunakan untuk menyusun bahan ajar serta asesmen.

AI dapat membantu mengubah tujuan umum menjadi indikator yang lebih terukur. Contoh prompt:

“Ubah tujuan umum ‘siswa memahami kesetimbangan kimia’ menjadi lima tujuan pembelajaran yang spesifik dan terukur untuk siswa SMA kelas XI. Tujuan harus mencakup reaksi bolak-balik, kesetimbangan dinamis, grafik konsentrasi, pengaruh gangguan, dan miskonsepsi reaksi berhenti.”

Hasilnya dapat berupa:

1. Siswa mampu menjelaskan bahwa reaksi maju dan balik tetap berlangsung pada keadaan setimbang.
2. Siswa mampu menafsirkan grafik konsentrasi terhadap waktu pada sistem setimbang.
3. Siswa mampu membedakan konsentrasi konstan dari reaksi berhenti.
4. Siswa mampu memprediksi arah pergeseran kesetimbangan akibat perubahan konsentrasi.
5. Siswa mampu menjelaskan bahwa katalis tidak mengubah nilai tetapan kesetimbangan.

Tujuan seperti ini dapat menjadi dasar penyusunan bahan ajar. AI juga dapat membantu memetakan tujuan ke aktivitas dan asesmen. Misalnya, tujuan tentang grafik konsentrasi membutuhkan aktivitas membaca grafik. Tujuan tentang miskonsepsi reaksi berhenti membutuhkan diskusi berbasis klaim atau simulasi.

4.1.4 AI untuk Menyusun Urutan Materi Kimia

Urutan materi sangat menentukan keberhasilan bahan ajar. Kimia memiliki struktur konsep yang saling bergantung. Jika urutan tidak tepat, siswa dapat kesulitan membangun pemahaman. AI dapat membantu menyusun urutan materi, tetapi guru perlu memeriksa berdasarkan logika kimia dan kurikulum.

Misalnya, dalam bahan ajar larutan penyangga, urutan yang baik dapat dimulai dari prasyarat asam-basa dan kesetimbangan, kemudian komponen buffer, mekanisme penyangga, contoh buffer asam dan basa, perubahan pH secara kualitatif, lalu perhitungan sederhana jika diperlukan. Jika bahan ajar langsung memulai dari rumus Henderson-Hasselbalch tanpa pemahaman mekanisme, siswa dapat menghafal rumus tanpa memahami konsep.

Contoh prompt:

“Susun urutan materi bahan ajar larutan penyangga untuk siswa SMA kelas XI. Urutan harus dimulai dari prasyarat konsep, dilanjutkan konsep inti, contoh, representasi partikel, persamaan kesetimbangan sederhana, latihan konseptual, dan asesmen formatif. Hindari memulai dari rumus sebelum konsep dipahami.”

Pada materi elektrokimia, urutan juga penting. Siswa perlu memahami redoks dan bilangan oksidasi sebelum sel volta. Jika langsung membahas notasi sel dan potensial elektroda, siswa dapat tertukar anode-katode. AI dapat diminta membuat peta urutan:

“Susun urutan bahan ajar sel volta untuk siswa SMA kelas XII. Sertakan prasyarat redoks, oksidasi-reduksi, anode-katode, arah elektron, fungsi jembatan garam, notasi sel, dan perhitungan potensial sel sederhana.”

AI dapat membantu, tetapi guru perlu menyesuaikan dengan kondisi kelas. Jika siswa sudah kuat pada prasyarat, bagian prasyarat dapat dibuat singkat. Jika belum, perlu diperluas.

4.1.5 AI untuk Memetakan Prasyarat Konsep

Prasyarat konsep merupakan konsep yang harus dimiliki siswa sebelum mempelajari materi baru. Dalam kimia, prasyarat sering menjadi penyebab kesulitan. AI dapat membantu guru memetakan prasyarat sehingga bahan ajar dapat menyertakan penguatan awal.

Contoh prasyarat:

- Stoikiometri memerlukan pemahaman massa atom relatif, massa molekul relatif, mol, persamaan reaksi, dan perbandingan koefisien.
- Larutan penyangga memerlukan asam-basa, kesetimbangan, asam lemah, basa konjugasi, dan pH.
- Elektrokimia memerlukan redoks, bilangan oksidasi, oksidator, reduktor, dan transfer elektron.
- Gaya antarmolekul memerlukan struktur molekul, polaritas, dan ikatan kimia.
- Termokimia memerlukan energi, sistem-lingkungan, kalor, reaksi eksoterm-endoterm, dan satuan.

Prompt:

“Buat peta prasyarat konsep untuk materi elektrokimia SMA. Sajikan dalam tabel dengan kolom konsep prasyarat, alasan diperlukan, kemungkinan kesulitan siswa, dan cara penguatan singkat dalam bahan ajar.”

Pemetaan prasyarat membantu guru merancang bagian pembuka bahan ajar. Guru dapat membuat “cek prasyarat” berupa tiga sampai lima pertanyaan singkat. AI dapat membantu menyusun pertanyaan tersebut.

Prompt lanjutan:

“Berdasarkan peta prasyarat elektrokimia, buat lima pertanyaan cek prasyarat dengan kunci dan tindak lanjut jika siswa belum menguasai.”

Dengan demikian, bahan ajar tidak langsung masuk ke konsep baru tanpa memastikan kesiapan.

4.1.6 AI untuk Mengidentifikasi Miskonsepsi Target

Miskonsepsi harus menjadi bagian penting dalam perencanaan bahan ajar. AI dapat membantu membuat daftar miskonsepsi potensial pada topik kimia. Namun, daftar tersebut perlu divalidasi dengan literatur pendidikan kimia dan pengalaman guru. Miskonsepsi yang dikenal luas dalam kimia antara lain kesetimbangan dianggap reaksi berhenti, asam kuat disamakan dengan asam pekat, larutan elektrolit dianggap menghantarkan listrik karena elektron bergerak dalam larutan, perubahan wujud dianggap memutus ikatan kovalen, dan katalis dianggap mengubah jumlah produk setimbang.

Prompt:

“Buat daftar miskonsepsi umum pada materi kesetimbangan kimia untuk siswa SMA. Untuk setiap miskonsepsi, tuliskan bentuk pernyataan siswa, konsep ilmiah yang benar, penyebab kemungkinan, dan strategi bahan ajar untuk meluruskannya.”

Hasilnya dapat digunakan untuk merancang bagian “Waspada Miskonsepsi” dalam bahan ajar. Misalnya:

- Miskonsepsi: “Pada setimbang, reaksi berhenti.”
- Konsep benar: “Reaksi maju dan balik tetap berlangsung dengan laju sama.”
- Strategi bahan ajar: gunakan simulasi partikel dan grafik laju reaksi.

AI juga dapat membantu membuat pertanyaan pemantik berbasis miskonsepsi. Misalnya:

“Seorang siswa mengatakan bahwa katalis membuat reaksi kesetimbangan menghasilkan lebih banyak produk. Setujukah Anda? Jelaskan.”

Pertanyaan semacam ini membantu siswa menguji pemahaman.

4.1.7 AI untuk Menentukan Bentuk Bahan Ajar yang Tepat

Tidak semua materi kimia harus disajikan dalam bentuk yang sama. AI dapat membantu guru memilih bentuk bahan ajar yang paling sesuai dengan karakter topik. Materi yang membutuhkan pengamatan dapat disajikan dalam LKPD praktikum atau video demonstrasi. Materi yang abstrak dapat didukung simulasi dan peta konsep. Materi yang prosedural dapat menggunakan latihan bertahap. Materi yang kontekstual dapat menggunakan studi kasus atau proyek.

Contoh:

- Elektrolit: LKPD praktikum, gambar partikel, tabel data daya hantar.
- Kesetimbangan: simulasi, grafik, diskusi miskonsepsi.
- Stoikiometri: modul latihan bertahap, contoh soal, peta langkah.
- Asam-basa: handout perbandingan konsep, praktikum indikator, studi kasus pH.
- Polimer: infografik, studi kasus plastik, proyek literasi lingkungan.
- Termokimia: diagram energi, eksperimen kalor sederhana, latihan tanda kalor.
- Elektrokimia: diagram sel, simulasi aliran elektron-ion, studi kasus baterai.

Prompt:

“Untuk topik-topik kimia berikut, rekomendasikan bentuk bahan ajar yang paling sesuai: modul, LKPD praktikum, simulasi, infografik, peta konsep, studi kasus, atau proyek. Jelaskan alasan pedagogisnya dan aspek representasi kimia yang perlu ditekankan.”

AI dapat membantu guru memilih media dan format, tetapi keputusan akhir tetap mempertimbangkan fasilitas dan waktu.

4.1.8 AI untuk Merancang Diferensiasi Bahan Ajar

Siswa memiliki kebutuhan belajar yang berbeda. AI dapat membantu guru merancang bahan ajar diferensiatif: versi dasar, reguler, dan pengayaan. Versi dasar berisi penguatan konsep inti dan contoh sederhana. Versi reguler berisi materi sesuai tujuan utama. Versi pengayaan berisi aplikasi, data, HOTS, atau proyek.

Contoh prompt:

"Buat rancangan bahan ajar diferensiatif untuk materi stoikiometri kelas X. Buat tiga jalur: remedial untuk siswa yang belum memahami mol, jalur reguler untuk siswa yang siap menghitung berdasarkan persamaan reaksi, dan jalur pengayaan untuk siswa yang siap mempelajari pereaksi pembatas sederhana. Setiap jalur memuat tujuan, materi inti, aktivitas, latihan, dan asesmen."

Untuk elektrolit:

"Buat tiga versi bahan ajar elektrolit: versi penguatan untuk miskonsepsi ion, versi reguler untuk klasifikasi elektrolit, dan versi pengayaan tentang elektrolit dalam baterai dan tubuh manusia. Gunakan bahasa SMA dan sertakan asesmen formatif."

Diferensiasi bahan ajar berbantuan AI dapat membantu guru melayani kelas heterogen. Namun, guru harus menjaga agar diferensiasi tidak memberi label permanen. Jalur belajar harus fleksibel dan dapat berubah sesuai perkembangan siswa.

4.1.9 AI untuk Menyusun Alur Bahan Ajar Berbasis Aktivitas

Bahan ajar kimia sebaiknya tidak hanya menyajikan materi, tetapi mengarahkan aktivitas belajar. AI dapat membantu menyusun alur aktivitas. Alur dapat mengikuti pola:

1. Fenomena pemantik.
2. Prediksi siswa.
3. Eksplorasi data atau simulasi.
4. Diskusi kelompok.
5. Konseptualisasi.
6. Latihan.
7. Refleksi.
8. Asesmen formatif.

Prompt:

"Susun alur bahan ajar berbasis aktivitas untuk materi laju reaksi kelas XI. Alur harus dimulai dari fenomena tablet effervescent, dilanjutkan prediksi siswa, analisis data waktu reaksi, diskusi teori tumbukan, latihan interpretasi data, refleksi miskonsepsi, dan exit ticket. Sajikan dalam tabel."

Alur berbasis aktivitas membantu memastikan siswa aktif. Guru dapat menggunakan AI untuk membuat bahan ajar yang tidak hanya informatif, tetapi juga interaktif.

Pada materi kimia yang abstrak, alur aktivitas perlu menghubungkan representasi. Misalnya, pada bentuk molekul, siswa dapat mulai dari model 3D, kemudian menentukan domain elektron, menggambar struktur Lewis, menentukan bentuk, dan menyimpulkan polaritas. AI dapat membantu membuat alur tersebut.

4.1.10 AI untuk Menyusun Komponen Asesmen dalam Bahan Ajar

Bahan ajar yang baik memuat asesmen formatif. AI dapat membantu guru menyusun pertanyaan cek pemahaman, latihan, kuis singkat, exit ticket, rubrik, dan umpan balik. Dalam perencanaan bahan ajar, asesmen harus ditentukan sejak awal, bukan ditambahkan di akhir secara acak.

Contoh prompt:

"Untuk bahan ajar larutan penyangga, susun asesmen formatif pada setiap bagian: prasyarat asam-basa, komponen buffer, mekanisme penyangga, dan aplikasi buffer. Setiap asesmen memuat dua pertanyaan, kunci singkat, dan umpan balik untuk miskonsepsi."

Asesmen dalam bahan ajar harus sesuai tujuan. Jika tujuan mengukur pemahaman mekanisme buffer, soal tidak cukup meminta definisi. Soal harus meminta siswa menjelaskan apa yang terjadi ketika sedikit asam atau basa ditambahkan.

AI juga dapat membantu membuat rubrik untuk tugas dalam bahan ajar. Misalnya, jika bahan ajar memuat tugas peta konsep, AI dapat membuat rubrik peta konsep. Jika bahan ajar memuat proyek infografik, AI dapat membuat rubrik infografik.

4.1.11 AI untuk Menentukan Media Pendukung Bahan Ajar

AI dapat membantu guru menentukan media pendukung yang sesuai dengan konsep kimia. Media dapat berupa gambar partikel, diagram, grafik, tabel, animasi, simulasi, model molekul, video demonstrasi, infografik, atau peta konsep. Pemilihan media harus berdasarkan fungsi pedagogis, bukan sekadar estetika.

Prompt:

"Rekomendasikan media pendukung untuk bahan ajar kesetimbangan kimia kelas XI. Untuk setiap media, jelaskan fungsi pedagogisnya, konsep yang didukung, miskonsepsi yang dapat dicegah, dan cara menggunakannya dalam pembelajaran."

Contoh media:

- Grafik konsentrasi terhadap waktu untuk menunjukkan konsentrasi konstan.
- Simulasi partikel untuk menunjukkan reaksi maju-balik tetap berlangsung.
- Tabel Q dan K untuk membedakan arah pergeseran.
- Diagram energi untuk menjelaskan katalis.

AI dapat membantu menyusun deskripsi media atau bahkan prompt untuk membuat gambar. Namun, jika gambar dibuat dengan AI generatif, guru harus memvalidasi akurasinya. Visual kimia yang salah dapat menimbulkan miskonsepsi.

4.1.12 AI untuk Menyusun Bahan Ajar Kontekstual

Bahan ajar kimia lebih bermakna jika dikaitkan dengan konteks kehidupan. AI dapat membantu membuat konteks lokal, industri, lingkungan, kesehatan, pangan, energi, atau material. Namun, konteks harus akurat dan tidak berlebihan. Misalnya, topik asam-basa dapat dikaitkan dengan pH tanah, makanan, obat maag, atau indikator alami. Topik redoks dapat dikaitkan dengan korosi, baterai, pemutih, atau pencoklatan buah. Topik polimer dapat dikaitkan dengan plastik dan daur ulang.

Prompt:

“Buat rancangan bahan ajar kontekstual tentang redoks untuk siswa SMA kelas XII. Gunakan konteks korosi besi di lingkungan pesisir. Bahan ajar harus memuat fenomena awal, konsep oksidasi-reduksi, faktor yang mempercepat korosi, data sederhana, aktivitas diskusi, tugas rekomendasi pencegahan, dan asesmen argumentasi.”

Konteks membantu siswa melihat relevansi kimia. Namun, guru harus berhati-hati agar konteks tidak menggantikan konsep. Bahan ajar kontekstual tetap harus mengarah pada pemahaman kimia yang benar.

4.1.13 AI untuk Perencanaan Bahan Ajar Berbasis Model Pembelajaran

Guru dapat menggunakan AI untuk merancang bahan ajar sesuai model pembelajaran tertentu, seperti inkuiri, problem-based learning, project-based learning, STEM, flipped classroom, atau pembelajaran berdiferensiasi. Prompt harus menyebut model dan komponen yang diperlukan.

Contoh prompt inkuiri:

“Buat rancangan bahan ajar berbasis inkuiri terbimbing untuk materi elektrolit. Bahan ajar harus memuat orientasi fenomena, rumusan masalah, prediksi, pengumpulan data, analisis, konsep ion, kesimpulan, dan refleksi.”

Prompt problem-based learning:

“Buat rancangan bahan ajar problem-based learning tentang pencemaran air secara sederhana. Gunakan konsep asam-basa dan larutan. Sertakan skenario masalah, data terbatas, pertanyaan investigasi, sumber informasi, produk akhir, dan rubrik.”

Prompt project-based learning:

“Buat rancangan bahan ajar project-based learning tentang indikator alami asam-basa. Sertakan pertanyaan pemandu, jadwal proyek, produk akhir, K3, rubrik, presentasi, dan refleksi.”

Model pembelajaran membantu bahan ajar memiliki struktur aktivitas yang jelas.

4.1.14 AI untuk Merancang Bahan Ajar Berbasis Literasi Sains

Literasi sains dalam kimia mencakup kemampuan menggunakan pengetahuan kimia untuk memahami fenomena, menafsirkan data, mengevaluasi klaim, dan mengambil keputusan. AI dapat membantu membuat bahan ajar berbasis literasi sains yang memuat teks konteks, data, klaim, pertanyaan evaluatif, dan refleksi.

Prompt:

"Buat rancangan bahan ajar berbasis literasi sains tentang plastik biodegradable untuk siswa SMA. Bahan harus memuat teks pendek, data sederhana, klaim yang perlu dievaluasi, konsep polimer, dampak lingkungan, pertanyaan argumentatif, dan refleksi. Hindari klaim bahwa semua bioplastik selalu ramah lingkungan."

Bahan ajar berbasis literasi sains tidak hanya mengajarkan konsep, tetapi juga cara berpikir kritis terhadap informasi. AI dapat membantu membuat klaim yang perlu dievaluasi, misalnya "produk ini 100% ramah lingkungan karena terbuat dari bahan alami." Siswa diminta mengevaluasi klaim berdasarkan konsep dan bukti.

4.1.15 AI untuk Perencanaan Bahan Ajar Remedial dan Pengayaan

Dalam satu kelas, tidak semua siswa membutuhkan bahan yang sama. AI dapat membantu guru merancang bahan remedial dan pengayaan sejak tahap perencanaan. Remedial ditujukan untuk memperbaiki kesulitan tertentu, sedangkan pengayaan ditujukan untuk memperluas dan memperdalam pemahaman.

Prompt remedial:

"Buat rancangan bahan ajar remedial tentang perbedaan asam kuat dan asam pekat. Target siswa: masih mengira asam kuat berarti konsentrasi tinggi. Bahan harus memuat penjelasan sederhana, tabel perbandingan, contoh HCl encer dan CH_3COOH pekat, latihan, umpan balik, dan refleksi."

Prompt pengayaan:

"Buat rancangan bahan ajar pengayaan tentang aplikasi larutan penyangga dalam sistem biologis untuk siswa SMA yang sudah memahami konsep buffer dasar. Gunakan bahasa sederhana, hindari detail biokimia terlalu kompleks, sertakan studi kasus dan pertanyaan HOTS."

Dengan AI, guru dapat lebih mudah menyediakan variasi bahan tanpa harus menulis semuanya dari awal. Namun, guru tetap harus memvalidasi materi pengayaan agar tidak terlalu teknis atau salah konteks.

4.1.16 AI untuk Menyusun Rencana Validasi Bahan Ajar

Validasi bahan ajar harus direncanakan sejak awal. AI dapat membantu membuat daftar aspek validasi. Validasi mencakup akurasi konsep, kesesuaian kurikulum, bahasa, representasi, aktivitas, asesmen, keterbacaan, keselamatan, dan etika penggunaan AI.

Prompt:

"Buat instrumen validasi bahan ajar kimia berbantuan AI. Aspek yang dinilai: kesesuaian tujuan, akurasi konsep kimia, hubungan makro-submikro-simbolik, antisipasi miskonsepsi, bahasa sesuai jenjang, aktivitas siswa, asesmen formatif, keselamatan jika ada praktikum, dan etika penggunaan AI. Gunakan skala 1–4 dan beri kolom saran revisi."

Instrumen validasi dapat digunakan oleh guru, dosen, rekan sejawat, atau mahasiswa calon guru. Dengan instrumen ini, bahan ajar tidak langsung digunakan sebelum diperiksa.

AI juga dapat membantu membuat daftar cek mandiri:

1. Apakah tujuan pembelajaran jelas?
2. Apakah konsep kimia benar?
3. Apakah contoh sesuai?
4. Apakah ada representasi partikel?
5. Apakah miskonsepsi diantisipasi?
6. Apakah aktivitas siswa aktif?
7. Apakah asesmen sesuai tujuan?
8. Apakah K3 tersedia jika ada praktikum?
9. Apakah bahasa sesuai jenjang?
10. Apakah sumber atau rujukan dicantumkan?

Daftar cek ini membantu guru melakukan kurasi.

4.1.17 AI dan Efisiensi Kerja Guru dalam Pengembangan Bahan Ajar

Salah satu manfaat nyata AI adalah efisiensi. Guru sering memiliki beban administratif dan pembelajaran yang tinggi. Menyusun bahan ajar, LKPD, soal, rubrik, dan media membutuhkan waktu. AI dapat mempercepat proses awal sehingga guru dapat lebih fokus pada validasi, adaptasi, dan interaksi dengan siswa. Namun, efisiensi tidak boleh mengorbankan kualitas.

AI dapat mempercepat:

1. Penyusunan kerangka modul.
2. Pembuatan variasi contoh.
3. Penyusunan tabel perbandingan.
4. Pembuatan pertanyaan pemantik.
5. Penyusunan latihan bertahap.
6. Pembuatan rubrik.

7. Penyusunan bahan remedial.
8. Pembuatan refleksi.
9. Penyusunan glosarium.
10. Penyusunan draft media visual.

Namun, guru tetap harus mengedit. Dalam pembelajaran kimia, output AI yang belum divalidasi tidak layak digunakan langsung. Efisiensi terbaik terjadi ketika guru menggunakan AI untuk draf awal, lalu memperbaiki berdasarkan pengetahuan profesional.

4.1.18 Batasan AI dalam Perencanaan Bahan Ajar Kimia

Meskipun bermanfaat, AI memiliki batasan. Pertama, AI dapat menghasilkan kesalahan konsep. Kedua, AI dapat membuat penjelasan terlalu umum. Ketiga, AI tidak mengetahui kondisi kelas secara nyata. Keempat, AI dapat menyarankan aktivitas yang tidak sesuai fasilitas sekolah. Kelima, AI dapat menghasilkan prosedur praktikum yang kurang aman. Keenam, AI dapat membuat sumber atau referensi yang perlu diverifikasi. Ketujuh, AI dapat mengabaikan konteks lokal jika tidak diminta.

Batasan lain adalah AI tidak memahami perkembangan emosional siswa, motivasi, dinamika kelompok, atau budaya sekolah secara langsung. Guru tetap perlu menggunakan penilaian profesional. Bahan ajar yang baik bukan hanya benar secara konsep, tetapi juga tepat secara pedagogis dan manusiawi.

Karena itu, dalam perencanaan bahan ajar, AI sebaiknya digunakan melalui prinsip:

1. AI menghasilkan draf.
2. Guru memeriksa konsep.
3. Guru menyesuaikan konteks.
4. Guru memvalidasi keselamatan.
5. Guru menambahkan pengalaman lokal.
6. Guru menguji keterbacaan.
7. Guru merevisi.
8. Guru menggunakan secara reflektif.

Dengan prinsip ini, AI menjadi mitra, bukan pengganti guru.

4.1.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu mengembangkan literasi AI untuk perencanaan bahan ajar. Literasi ini mencakup kemampuan menyusun prompt, mengevaluasi keluaran, memvalidasi konsep, menyesuaikan dengan kurikulum, serta mengintegrasikan bahan ajar dengan aktivitas dan asesmen. Calon guru kimia perlu dilatih tidak hanya menggunakan AI, tetapi juga mengkritisi dan merevisi hasilnya.

Dalam pendidikan calon guru, tugas perencanaan bahan ajar berbantuan AI dapat dirancang sebagai portofolio. Mahasiswa diminta memilih satu topik kimia, menyusun analisis kebutuhan, membuat prompt, menghasilkan draf bahan ajar, mengevaluasi output, merevisi, memvalidasi

konsep, dan menulis refleksi. Dengan cara ini, mahasiswa belajar bahwa AI bukan alat untuk menyalin bahan ajar, tetapi alat untuk mempercepat proses desain yang tetap membutuhkan tanggung jawab akademik.

Contoh tugas:

“Gunakan AI untuk membantu merancang bahan ajar kimia pada satu topik SMA. Produk harus memuat analisis kebutuhan, tujuan pembelajaran, urutan materi, prasyarat, miskonsepsi, aktivitas siswa, asesmen formatif, bahan remedial, bahan pengayaan, dan rencana validasi. Lampirkan prompt, output AI, revisi, dan refleksi.”

Tugas seperti ini melatih calon guru menjadi perencana bahan ajar yang kritis, kreatif, dan bertanggung jawab.

Dengan demikian, AI memiliki peran besar dalam perencanaan bahan ajar kimia. AI dapat membantu guru menganalisis kebutuhan, merumuskan tujuan, menyusun urutan materi, memetakan prasyarat, mengidentifikasi miskonsepsi, memilih bentuk bahan ajar, merancang aktivitas, menyiapkan asesmen, dan membuat variasi bahan remedial serta pengayaan. Namun, semua hasil AI harus dikendalikan oleh guru melalui validasi konsep, penyesuaian konteks, pemeriksaan keselamatan, dan refleksi pedagogis. Perencanaan bahan ajar kimia berbantuan AI yang baik tidak hanya menghasilkan materi yang rapi, tetapi bahan ajar yang akurat, aktif, kontekstual, aman, dan mampu membangun pemahaman kimia yang bermakna.

Subbab berikutnya adalah **4.2 AI untuk Menyusun Buku Ajar dan Modul Pembelajaran Kimia**.

Subbab ini selesai. Ketik ‘lanjut’ atau ‘ya’ untuk melanjutkan ke subbab berikutnya.

4.2 AI untuk Menyusun Buku Ajar dan Modul Pembelajaran Kimia

Buku ajar dan modul pembelajaran kimia merupakan perangkat utama yang membantu peserta didik memahami konsep kimia secara sistematis, bertahap, dan terarah. Buku ajar biasanya memiliki cakupan lebih luas, digunakan dalam satu mata pelajaran, satu mata kuliah, atau satu semester pembelajaran. Modul pembelajaran cenderung lebih terfokus pada satu kompetensi, satu topik, atau satu unit belajar tertentu. Keduanya memiliki fungsi penting dalam pembelajaran kimia karena menyediakan struktur pengetahuan, penjelasan konsep, contoh, aktivitas, latihan, asesmen, rangkuman, dan refleksi.

AI dapat membantu guru, dosen, dan calon guru menyusun buku ajar dan modul kimia secara lebih efisien. AI dapat digunakan untuk membuat kerangka bab, menyusun tujuan pembelajaran, menulis draf uraian materi, membuat contoh soal, menyusun aktivitas belajar, mengembangkan latihan bertahap, membuat glosarium, merancang asesmen formatif, serta menyiapkan bahan remedial dan pengayaan. Namun, penyusunan buku ajar dan modul dengan bantuan AI tidak boleh dipahami sebagai proses otomatis yang cukup dilakukan dengan satu perintah. Buku ajar dan modul kimia memerlukan perencanaan akademik, validasi konsep, penyesuaian pedagogis, pengujian keterbacaan, dan penyuntingan manusia secara serius.

Dalam kimia, penyusunan buku ajar dan modul memiliki tantangan khusus. Kimia menghubungkan fenomena yang dapat diamati dengan struktur dan proses partikel yang tidak terlihat, kemudian dinyatakan melalui simbol, rumus, persamaan, grafik, tabel, dan model. Oleh karena itu, buku ajar dan modul kimia tidak boleh hanya berisi definisi dan rumus. Keduanya harus membantu peserta didik berpindah dari level makroskopik ke level submikroskopik dan simbolik. Jika bahan ajar terlalu menekankan simbol dan perhitungan, siswa dapat menghafal prosedur tanpa memahami konsep. Sebaliknya, jika terlalu naratif tanpa latihan simbolik, siswa dapat memahami cerita tetapi kesulitan menyelesaikan masalah kimia.

AI dapat membantu mengatasi sebagian tantangan tersebut dengan menghasilkan berbagai bentuk representasi dan variasi penjelasan. Misalnya, dalam modul larutan elektrolit, AI dapat membantu menyusun penjelasan fenomena nyala lampu, deskripsi partikel ion dalam larutan, persamaan disosiasi, tabel perbandingan elektrolit kuat-lemah-nonelektrolit, latihan diagnostik, dan pertanyaan reflektif. Akan tetapi, semua bagian tersebut harus diperiksa guru agar tidak mengandung kesalahan konsep, penyederhanaan berlebihan, atau miskonsepsi baru.

4.2.1 Perbedaan Buku Ajar dan Modul Pembelajaran Kimia

Buku ajar dan modul memiliki karakter yang berbeda. Buku ajar umumnya bersifat lebih komprehensif, mencakup beberapa bab, dan digunakan sebagai sumber utama pembelajaran. Buku ajar kimia biasanya memuat struktur keilmuan yang lebih luas, seperti atom, ikatan kimia, stoikiometri, larutan, termokimia, laju reaksi, kesetimbangan, asam-basa, elektrokimia, kimia organik, atau kimia lingkungan. Buku ajar perlu memiliki kesinambungan antarbab, kedalaman akademik, konsistensi istilah, dan daftar pustaka yang kuat.

Modul pembelajaran lebih bersifat mandiri dan terarah. Modul biasanya disusun untuk mencapai tujuan pembelajaran tertentu dalam satu unit. Modul yang baik memungkinkan siswa belajar secara lebih mandiri karena memuat petunjuk belajar, tujuan, prasyarat, uraian materi, kegiatan, latihan, asesmen, kunci, umpan balik, dan refleksi. Dalam konteks kimia, modul sangat berguna untuk topik yang memerlukan penguatan bertahap, seperti stoikiometri, pH, kesetimbangan, elektrokimia, atau larutan penyangga.

AI dapat membantu menyusun keduanya, tetapi prompt yang digunakan harus berbeda. Untuk buku ajar, guru atau penulis perlu meminta AI menyusun struktur bab, kesinambungan konsep, peta bab, subbab, ilustrasi konseptual, contoh, latihan, dan referensi. Untuk modul, prompt perlu menekankan tujuan spesifik, aktivitas belajar, instruksi mandiri, asesmen formatif, remedial, dan pengayaan.

Contoh prompt buku ajar:

“Bertindaklah sebagai penulis buku ajar kimia SMA. Susun kerangka buku ajar kimia tentang larutan untuk satu bab lengkap. Bab harus memuat peta konsep, tujuan pembelajaran, apersepsi, uraian konsep, representasi makro-submikro-simbolik, contoh soal, aktivitas, miskonsepsi umum, latihan, rangkuman, refleksi, dan asesmen bab.”

Contoh prompt modul:

“Bertindaklah sebagai pengembang modul kimia. Buat modul pembelajaran mandiri tentang larutan penyangga untuk siswa SMA kelas XI. Modul harus memuat petunjuk penggunaan, tujuan, prasyarat, uraian materi bertahap, aktivitas, latihan, asesmen formatif, kunci jawaban, umpan balik, remedial, pengayaan, dan refleksi.”

Perbedaan prompt ini penting agar AI menghasilkan produk sesuai fungsi bahan ajar.

4.2.2 Prinsip Penyusunan Buku Ajar Kimia Berbantuan AI

Penyusunan buku ajar kimia berbantuan AI harus mengikuti prinsip akademik dan pedagogis. Prinsip pertama adalah **koherensi konseptual**. Bab-bab dalam buku ajar harus tersusun secara logis. Konsep prasyarat harus muncul sebelum konsep lanjutan. Misalnya, persamaan reaksi dan mol harus dipahami sebelum stoikiometri, konsep ion harus dipahami sebelum elektrolit dan elektrokimia, serta kesetimbangan harus dipahami sebelum larutan penyangga dan hidrolisis.

Prinsip kedua adalah **akurasi ilmiah**. AI dapat membantu menulis, tetapi setiap istilah, persamaan, contoh, dan penjelasan harus diverifikasi. Buku ajar kimia memiliki tanggung jawab ilmiah yang lebih tinggi daripada catatan kelas singkat. Kesalahan kecil, seperti muatan ion yang salah atau persamaan reaksi yang tidak setara, dapat berdampak besar pada pemahaman siswa.

Prinsip ketiga adalah **keterbacaan**. Buku ajar harus sesuai dengan tingkat pembaca. Untuk siswa SMA, bahasa harus jelas, kalimat tidak terlalu panjang, dan istilah baru dijelaskan. Untuk mahasiswa, buku dapat menggunakan istilah akademik lebih kuat, tetapi tetap harus terstruktur. AI dapat membantu menyederhanakan bahasa, tetapi guru perlu memastikan penyederhanaan tidak mengorbankan makna kimia.

Prinsip keempat adalah **multirepresentasi**. Buku ajar kimia perlu menghadirkan fenomena, model partikel, simbol, grafik, tabel, dan contoh numerik. AI dapat diminta menyusun deskripsi representasi, tetapi gambar atau diagram tetap perlu divalidasi.

Prinsip kelima adalah **pencegahan miskonsepsi**. Buku ajar harus memiliki bagian klarifikasi konsep atau “hati-hati miskonsepsi”. Misalnya, pada bab kesetimbangan, buku harus menegaskan bahwa reaksi tidak berhenti. Pada bab asam-basa, buku harus membedakan kekuatan asam dan konsentrasi. Pada bab elektrolit, buku harus menegaskan bahwa pembawa muatan dalam larutan adalah ion.

Prinsip keenam adalah **keterpaduan asesmen**. Buku ajar harus memuat pertanyaan formatif, latihan bertahap, soal HOTS, asesmen diagnostik, dan refleksi. AI dapat membantu menghasilkan variasi soal, tetapi kunci dan pembahasannya perlu diperiksa.

Prinsip ketujuh adalah **kontekstualitas**. Buku ajar kimia perlu mengaitkan konsep dengan kehidupan, industri, lingkungan, teknologi, dan fenomena lokal. Namun, konteks harus akurat dan tidak menjadi klaim berlebihan.

4.2.3 Prinsip Penyusunan Modul Kimia Berbantuan AI

Modul pembelajaran kimia memiliki prinsip yang sedikit berbeda karena modul dirancang agar siswa dapat belajar secara lebih mandiri. Prinsip pertama adalah **kemandirian belajar**. Modul harus menyediakan petunjuk penggunaan, alur belajar, tujuan, aktivitas, latihan, kunci, dan umpan balik. Siswa yang membaca modul harus mengetahui apa yang harus dilakukan, bukan hanya apa yang harus dibaca.

Prinsip kedua adalah **unit belajar yang terfokus**. Modul sebaiknya tidak terlalu luas. Modul tentang "asam-basa" dapat terlalu besar jika mencakup semua teori, pH, titrasi, buffer, dan hidrolisis sekaligus. Lebih baik modul difokuskan, misalnya "perbedaan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer" atau "konsep dasar larutan penyangga".

Prinsip ketiga adalah **aktivitas bertahap**. Modul harus mengarahkan siswa dari pemahaman awal menuju pemahaman lebih kompleks. Misalnya, modul stoikiometri dapat dimulai dari konsep mol, kemudian perbandingan koefisien, lalu perhitungan massa. AI dapat membantu membuat latihan bertingkat.

Prinsip keempat adalah **umpan balik langsung**. Modul mandiri perlu menyediakan kunci atau pedoman jawaban. Namun, kunci tidak hanya berupa jawaban akhir. Dalam kimia, pembahasan langkah dan alasan sangat penting. Jika siswa salah, modul perlu memberi petunjuk perbaikan.

Prinsip kelima adalah **refleksi belajar**. Modul harus meminta siswa menuliskan bagian yang dipahami, bagian yang masih sulit, dan strategi perbaikan. Refleksi membantu siswa mengembangkan kesadaran metakognitif.

Prinsip keenam adalah **remedial dan pengayaan**. Modul yang baik menyediakan jalur penguatan bagi siswa yang belum tuntas dan pengayaan bagi siswa yang sudah menguasai. AI dapat membantu menyusun dua jalur ini.

Contoh prompt modul lengkap:

"Buat modul pembelajaran mandiri kimia SMA kelas XI tentang konsep dasar larutan penyangga. Modul harus fokus pada mekanisme buffer, bukan perhitungan rumit. Struktur modul: petunjuk penggunaan, tujuan pembelajaran, prasyarat, cek prasyarat, apersepsi, peta konsep, uraian materi bertahap, aktivitas analisis, contoh, latihan formatif, kunci dan pembahasan, miskonsepsi umum, rangkuman, refleksi, remedial, pengayaan, dan daftar bacaan. Gunakan bahasa siswa SMA dan pastikan konsep kimia akurat."

4.2.4 AI untuk Menyusun Kerangka Buku Ajar Kimia

Tahap pertama dalam menyusun buku ajar adalah membuat kerangka. AI sangat membantu pada tahap ini. Penulis dapat meminta AI menyusun bab, subbab, urutan konsep, dan komponen pedagogis. Namun, kerangka dari AI harus ditinjau agar tidak melebar, tidak tumpang tindih, dan sesuai dengan kurikulum.

Prompt:

“Susun kerangka buku ajar kimia SMA untuk bab ‘Kesetimbangan Kimia’. Kerangka harus memuat tujuan bab, peta konsep, subbab berurutan, uraian konsep utama, aktivitas pembelajaran, contoh soal, miskonsepsi umum, latihan, rangkuman, refleksi, dan asesmen bab. Jangan menulis isi lengkap terlebih dahulu.”

Hasil kerangka dapat memuat:

1. Pengantar fenomena reaksi bolak-balik.
2. Reaksi reversibel dan irreversibel.
3. Kesetimbangan dinamis.
4. Tetapan kesetimbangan.
5. Pergeseran kesetimbangan.
6. Faktor yang memengaruhi kesetimbangan.
7. Katalis dan kesetimbangan.
8. Penerapan dalam industri.
9. Miskonsepsi umum.
10. Latihan dan asesmen.

Guru perlu memeriksa apakah urutan tersebut sesuai. Jika siswa belum siap pada perhitungan Kc, bagian matematis dapat ditempatkan setelah pemahaman konseptual.

AI juga dapat diminta membuat beberapa alternatif kerangka. Misalnya, kerangka berbasis konsep, berbasis fenomena, berbasis inkuiri, atau berbasis konteks industri. Penulis kemudian memilih yang paling sesuai.

4.2.5 AI untuk Menyusun Kerangka Modul Kimia

Kerangka modul lebih rinci pada aktivitas siswa. AI dapat membantu menyusun struktur modul yang siap dikembangkan.

Prompt:

“Susun kerangka modul kimia tentang stoikiometri untuk siswa SMA kelas X. Modul harus dibagi menjadi tiga kegiatan belajar: konsep mol, perbandingan koefisien reaksi, dan perhitungan massa zat. Setiap kegiatan belajar memuat tujuan, materi singkat, contoh, latihan, umpan balik, dan refleksi. Sertakan asesmen akhir modul dan remedial-pengayaan.”

Kerangka modul dapat disusun sebagai berikut:

- Identitas modul.
- Petunjuk penggunaan.
- Kompetensi atau tujuan.
- Peta konsep.
- Cek prasyarat.

- Kegiatan Belajar 1: Konsep mol.
- Kegiatan Belajar 2: Koefisien reaksi sebagai perbandingan mol.
- Kegiatan Belajar 3: Perhitungan massa dalam reaksi.
- Rangkuman.
- Tes formatif.
- Kunci dan pembahasan.
- Remedial.
- Pengayaan.
- Refleksi.

Kerangka seperti ini membantu guru mengembangkan modul secara bertahap dan terkontrol.

4.2.6 AI untuk Menulis Uraian Materi Buku Ajar

AI dapat membantu menulis draf uraian materi buku ajar. Namun, guru harus memberi arahan yang jelas. Uraian materi buku ajar harus memiliki alur, contoh, penjelasan konsep, dan transisi antargagasan. Prompt perlu menyebut kedalaman, gaya bahasa, dan fokus konsep.

Contoh prompt:

"Kembangkan uraian materi buku ajar tentang kesetimbangan dinamis untuk siswa SMA kelas XI. Uraian harus dimulai dari fenomena reaksi bolak-balik, menjelaskan laju reaksi maju dan balik, konsentrasi konstan, serta menegaskan bahwa reaksi tidak berhenti. Sertakan contoh sederhana, analogi terbatas, dan miskonsepsi yang perlu dihindari. Jangan membahas perhitungan Kc terlebih dahulu."

Prompt ini menjaga agar AI tidak langsung masuk ke rumus.

Untuk elektrolit:

"Kembangkan uraian materi buku ajar tentang larutan elektrolit dan nonelektrolit. Jelaskan fenomena daya hantar listrik, peran ion dalam larutan, perbedaan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit, serta contoh NaCl, CH_3COOH, dan gula. Hubungkan makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Hindari miskonsepsi elektron bergerak dalam larutan."

Uraian yang dihasilkan AI perlu diedit agar sesuai gaya buku. Penulis juga perlu menambahkan ilustrasi, tabel, dan aktivitas.

4.2.7 AI untuk Menulis Uraian Materi Modul

Uraian modul harus lebih langsung, ringkas, dan disertai instruksi belajar. Modul bukan hanya menjelaskan, tetapi membimbing siswa. Prompt untuk modul perlu meminta pertanyaan antarbagian dan latihan kecil.

Contoh prompt:

“Tulis uraian materi untuk Kegiatan Belajar 1 dalam modul stoikiometri: konsep mol. Gunakan bahasa siswa SMA kelas X. Mulai dari analogi jumlah partikel, jelaskan mol sebagai satuan jumlah zat, hubungan mol dengan jumlah partikel dan massa molar, berikan dua contoh sederhana, tiga latihan, kunci singkat, dan refleksi.”

Untuk modul elektrokimia:

“Tulis uraian materi modul tentang anode dan katode pada sel volta. Jelaskan oksidasi di anode, reduksi di katode, arah elektron melalui kawat luar, dan fungsi jembatan garam. Sertakan tabel perbandingan, diagram verbal, cek pemahaman, dan miskonsepsi umum.”

Modul harus memecah konsep menjadi bagian kecil agar siswa dapat belajar mandiri.

4.2.8 AI untuk Menyusun Peta Konsep dalam Buku Ajar dan Modul

Peta konsep membantu pembaca memahami hubungan antarkonsep. AI dapat membantu membuat peta konsep tekstual sebelum divisualisasikan.

Prompt:

“Buat peta konsep tekstual untuk bab kesetimbangan kimia. Peta konsep harus menunjukkan hubungan antara reaksi bolak-balik, laju reaksi maju, laju reaksi balik, kesetimbangan dinamis, konsentrasi konstan, Kc, Qc, gangguan, prinsip Le Chatelier, dan katalis. Gunakan kata penghubung yang jelas.”

Peta konsep dapat disajikan dalam bentuk hubungan:

- Reaksi bolak-balik memungkinkan terjadinya kesetimbangan dinamis.
- Kesetimbangan dinamis terjadi ketika laju reaksi maju sama dengan laju reaksi balik.
- Pada kesetimbangan, konsentrasi reaktan dan produk konstan, tetapi tidak harus sama.
- Kc menyatakan perbandingan konsentrasi pada keadaan setimbang.
- Qc digunakan untuk memprediksi arah perubahan menuju setimbang.

Peta konsep seperti ini membantu penulis melihat apakah alur bab sudah koheren. Dalam modul, peta konsep dapat diletakkan setelah tujuan pembelajaran.

4.2.9 AI untuk Menyusun Contoh dan Non-Contoh

Contoh dan non-contoh sangat penting dalam pembelajaran kimia. Contoh menunjukkan konsep yang benar, sedangkan non-contoh membantu siswa membedakan dari kasus yang tidak sesuai. AI dapat membantu membuat pasangan contoh dan non-contoh.

Prompt:

“Buat contoh dan non-contoh untuk konsep elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit. Untuk setiap contoh dan non-contoh, jelaskan alasan pada level partikel. Gunakan bahasa siswa SMA.”

Contoh:

- NaCl(aq) sebagai elektrolit kuat karena terdisosiasi menjadi banyak ion.
- Gula(aq) sebagai nonelektrolit karena tetap sebagai molekul netral.
- CH_3COOH(aq) sebagai elektrolit lemah karena hanya sebagian molekul terionisasi.

Non-contoh dapat membantu menghindari miskonsepsi:

- Larutan gula bukan elektrolit meskipun larut.
- Larutan cuka bukan elektrolit kuat meskipun dapat menghantarkan listrik lemah.
- Air murni bukan penghantar kuat.

Contoh dan non-contoh membantu memperjelas batas konsep.

4.2.10 AI untuk Menyusun Ilustrasi Konseptual dalam Buku dan Modul

Ilustrasi konseptual dalam kimia dapat berupa gambar partikel, diagram energi, grafik, tabel, atau model molekul. AI dapat membantu menulis deskripsi ilustrasi atau prompt gambar, tetapi ilustrasi harus divalidasi. Jika menggunakan gambar generatif, guru harus memeriksa akurasi kimia.

Prompt deskripsi ilustrasi:

“Buat deskripsi ilustrasi konseptual untuk menjelaskan perbedaan larutan NaCl, CH_3COOH, dan gula pada level partikel. Deskripsi harus menjelaskan partikel apa yang ditampilkan, label yang diperlukan, dan pesan konsep yang ingin disampaikan.”

Hasil deskripsi dapat berbunyi:

- Larutan NaCl: banyak ion Na^+ dan Cl^- terpisah, dikelilingi molekul air.
- Larutan CH_3COOH: sebagian molekul tetap CH_3COOH, sebagian kecil menjadi H^+/H_3O^+ dan CH_3COO^-.
- Larutan gula: molekul gula netral tersebar, tidak membentuk ion.

Deskripsi ini dapat diberikan kepada ilustrator atau digunakan untuk membuat gambar. Guru harus memastikan gambar tidak menampilkan elektron bebas dalam larutan atau ionisasi total asam lemah.

4.2.11 AI untuk Menyusun Latihan Bertahap dalam Modul

Latihan bertahap sangat penting dalam modul. AI dapat membantu menyusun latihan dari tingkat dasar ke tingkat lanjut. Dalam kimia, latihan bertahap perlu mencakup konsep, representasi, perhitungan, data, dan aplikasi.

Contoh prompt:

“Buat latihan bertahap untuk modul molaritas kelas X. Tingkat 1: menghitung molaritas dari mol dan volume. Tingkat 2: menghitung mol dari molaritas dan volume. Tingkat 3: pengenceran sederhana. Tingkat 4: analisis data praktikum. Sertakan kunci, pembahasan, dan umpan balik untuk kesalahan umum.”

Untuk kesetimbangan:

“Buat latihan bertahap tentang kesetimbangan dinamis. Tingkat dasar berupa benar-salah beralasan, tingkat menengah berupa interpretasi grafik, tingkat lanjut berupa evaluasi klaim tentang katalis. Sertakan kunci dan rubrik singkat.”

Latihan bertahap membantu siswa membangun pemahaman secara progresif.

4.2.12 AI untuk Menyusun Rangkuman dan Refleksi

Buku ajar dan modul perlu memuat rangkuman. AI dapat membantu membuat rangkuman singkat yang menyoroti konsep inti. Namun, rangkuman harus diperiksa agar tidak menghilangkan nuansa konsep penting.

Prompt:

“Buat rangkuman materi larutan elektrolit dan nonelektrolit untuk siswa SMA kelas X. Rangkuman harus memuat konsep ion, daya hantar listrik, elektrolit kuat, elektrolit lemah, nonelektrolit, dan miskonsepsi yang perlu dihindari. Gunakan poin-poin singkat.”

Refleksi juga penting. Prompt:

“Buat pertanyaan refleksi untuk akhir modul elektrolit. Pertanyaan harus membantu siswa memikirkan perubahan pemahaman tentang ion, hubungan data dengan konsep, kesalahan yang pernah dimiliki, dan bagian yang masih perlu dipelajari.”

Pertanyaan refleksi dapat membantu siswa mengembangkan metakognisi.

4.2.13 AI untuk Menyusun Kunci Jawaban dan Umpan Balik Modul

Modul mandiri harus menyediakan kunci dan umpan balik. AI dapat membantu membuat pembahasan soal, tetapi guru harus memeriksa kebenaran. Kunci tidak hanya berupa jawaban akhir, terutama untuk soal perhitungan dan uraian.

Prompt:

“Buat kunci jawaban dan pembahasan untuk latihan stoikiometri berikut. Pembahasan harus menunjukkan langkah: menyetarakan persamaan, mengubah massa ke mol, menggunakan

perbandingan koefisien, dan mengubah mol ke massa jika diperlukan. Sertakan kesalahan umum dan umpan balik."

Untuk soal konseptual:

"Buat kunci dan umpan balik untuk pertanyaan: Mengapa larutan gula tidak menghantarkan listrik meskipun larut dalam air? Jawaban harus menjelaskan molekul netral dan tidak adanya ion bebas."

Umpan balik membantu siswa memperbaiki kesalahan ketika belajar mandiri.

4.2.14 AI untuk Menyusun Bahan Remedial dalam Modul

Modul sebaiknya menyediakan bagian remedial. AI dapat membantu menyusun remedial berdasarkan kesalahan umum. Remedial tidak hanya mengulang materi, tetapi memberi penjelasan alternatif dan latihan penguatan.

Prompt:

"Buat bagian remedial untuk modul kesetimbangan kimia bagi siswa yang masih mengira reaksi berhenti pada keadaan setimbang. Bagian remedial harus memuat penjelasan ulang, analogi terbatas, deskripsi simulasi, pertanyaan cek pemahaman, dan latihan singkat."

Untuk stoikiometri:

"Buat remedial untuk siswa yang salah menggunakan koefisien reaksi dalam perhitungan stoikiometri. Jelaskan makna koefisien sebagai perbandingan mol, beri contoh sederhana, latihan, dan umpan balik."

Bahan remedial harus ditulis dengan bahasa mendukung, bukan menghukum.

4.2.15 AI untuk Menyusun Bahan Pengayaan dalam Modul

Pengayaan diberikan kepada siswa yang sudah menguasai konsep dasar. AI dapat membantu membuat pengayaan yang kontekstual dan menantang.

Prompt:

"Buat bahan pengayaan untuk modul elektrokimia tentang baterai dalam kehidupan sehari-hari. Jelaskan secara konseptual hubungan redoks, aliran elektron, ion, dan tantangan daur ulang baterai. Gunakan bahasa SMA dan sertakan pertanyaan analisis."

Untuk polimer:

"Buat bahan pengayaan tentang plastik biodegradable dan tantangan lingkungan. Sertakan konsep struktur polimer, kondisi degradasi, evaluasi klaim, dan pertanyaan argumentatif. Hindari klaim berlebihan."

Pengayaan harus memperdalam pemahaman, bukan sekadar menambah informasi.

4.2.16 AI untuk Menyusun Modul Berbasis Diferensiasi

AI dapat membantu membuat modul dengan jalur belajar berbeda. Modul diferensiatif dapat memuat jalur dasar, jalur reguler, dan jalur pengayaan. Siswa memilih atau diarahkan berdasarkan hasil asesmen diagnostik.

Prompt:

"Buat rancangan modul diferensiatif tentang stoikiometri. Jalur A untuk siswa yang belum memahami mol, Jalur B untuk siswa yang sudah memahami mol tetapi perlu latihan perbandingan koefisien, Jalur C untuk siswa yang siap pengayaan pereaksi pembatas. Setiap jalur memuat tujuan, materi singkat, latihan, kunci, dan asesmen ulang."

Modul diferensiatif membantu guru menyesuaikan pembelajaran. Namun, guru harus menjaga agar jalur tidak menjadi label permanen.

4.2.17 AI untuk Menyusun Buku Ajar atau Modul Berbasis Konteks

Buku ajar dan modul kimia dapat dibuat lebih bermakna melalui konteks. AI dapat membantu menyusun konteks yang relevan, tetapi guru harus memverifikasi fakta. Konteks dapat berupa lingkungan lokal, industri, makanan, energi, kesehatan, pertanian, material, atau rumah tangga.

Prompt:

"Buat rancangan modul kontekstual tentang asam-basa dengan konteks pH tanah dan pertanian. Modul harus memuat konsep pH, asam-basa, indikator, interpretasi data pH tanah secara sederhana, aktivitas diskusi, dan pertanyaan refleksi. Hindari rekomendasi pertanian teknis yang tidak berdasar."

Untuk kimia lingkungan:

"Buat bab buku ajar kimia lingkungan tentang pencemaran air secara sederhana untuk siswa SMA. Fokus pada konsep larutan, pH, ion, dan keterbatasan data sederhana. Sertakan studi kasus, data latihan, pertanyaan analisis, dan literasi sains."

Konteks harus digunakan untuk menjelaskan konsep, bukan menggantikan konsep.

4.2.18 AI untuk Penyuntingan Buku Ajar dan Modul

AI dapat membantu menyunting bahasa, memperbaiki struktur, menyederhanakan kalimat, membuat transisi, dan memeriksa konsistensi istilah. Namun, penyuntingan konsep tetap harus dilakukan guru.

Prompt:

“Sunting teks modul berikut agar lebih jelas untuk siswa SMA kelas XI. Pertahankan akurasi konsep kimia, pendekkan kalimat yang terlalu panjang, jelaskan istilah yang sulit, dan buat alur lebih runtut.”

Prompt konsistensi:

“Periksa konsistensi istilah dalam teks berikut. Pastikan istilah elektrolit kuat, elektrolit lemah, nonelektrolit, ionisasi, disosiasi, ion, dan molekul digunakan secara tepat dan konsisten.”

Prompt keterbacaan:

“Tinjau teks berikut dari sisi keterbacaan siswa SMA. Identifikasi kalimat yang terlalu teknis dan sarankan versi yang lebih mudah dipahami tanpa menghilangkan makna ilmiah.”

Penyuntingan dengan AI dapat mempercepat revisi, tetapi guru tetap memegang keputusan akhir.

4.2.19 Validasi Buku Ajar dan Modul Berbantuan AI

Validasi merupakan tahap wajib. Buku ajar dan modul yang dibuat dengan bantuan AI harus divalidasi dari beberapa aspek. Pertama, **validasi isi**: apakah materi benar dan sesuai kurikulum? Kedua, **validasi konstruk pedagogis**: apakah alur pembelajaran mendukung pencapaian tujuan? Ketiga, **validasi bahasa**: apakah bahasa sesuai pembaca? Keempat, **validasi representasi**: apakah gambar, tabel, grafik, dan simbol benar? Kelima, **validasi asesmen**: apakah latihan dan soal sesuai indikator? Keenam, **validasi keselamatan** jika ada praktikum. Ketujuh, **validasi etika AI** jika produk melibatkan penggunaan AI oleh siswa.

AI dapat membantu membuat instrumen validasi. Prompt:

“Buat lembar validasi modul kimia berbantuan AI. Aspek: kesesuaian tujuan, akurasi konsep, kedalaman materi, urutan konsep, representasi makro-submikro-simbolik, antisipasi miskonsepsi, aktivitas siswa, asesmen formatif, kunci dan umpan balik, bahasa, tampilan, keselamatan, dan etika penggunaan AI. Gunakan skala 1–4 dan kolom saran.”

Validasi dapat dilakukan oleh rekan guru, dosen kimia, ahli pendidikan kimia, atau praktisi laboratorium. Untuk buku ajar yang akan diterbitkan, validasi harus lebih serius dan melibatkan penyunting ilmiah.

4.2.20 Tantangan Penyusunan Buku Ajar dan Modul dengan AI

Ada beberapa tantangan dalam penyusunan buku ajar dan modul berbantuan AI. Pertama, AI dapat menghasilkan teks yang sangat lancar tetapi tidak selalu benar. Kedua, AI dapat menghasilkan referensi yang tidak akurat jika diminta tanpa verifikasi. Ketiga, AI dapat membuat materi terlalu umum dan tidak sesuai konteks lokal. Keempat, AI dapat mengulang pola yang sama sehingga buku terasa monoton. Kelima, AI dapat mengabaikan aktivitas siswa jika prompt tidak jelas.

Tantangan keenam adalah konsistensi antarbab. Dalam buku ajar panjang, istilah dan kedalaman materi harus konsisten. AI dapat menggunakan istilah berbeda untuk konsep yang sama. Guru perlu menyusun panduan gaya dan glosarium istilah. Tantangan ketujuh adalah ilustrasi. Gambar kimia harus tepat. Gambar yang menarik tetapi salah akan merusak pemahaman. Tantangan kedelapan adalah etika. Penulis harus transparan dalam penggunaan AI sesuai kebijakan akademik atau penerbit.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, penyusunan buku ajar dan modul dengan AI harus dilakukan melalui alur: perencanaan, prompt awal, draf AI, validasi konsep, revisi pedagogis, penyuntingan bahasa, uji keterbacaan, uji coba terbatas, revisi akhir, dan dokumentasi.

4.2.21 Contoh Alur Kerja Penyusunan Modul Kimia dengan AI

Alur kerja penyusunan modul kimia berbantuan AI dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Menentukan topik dan tujuan.
2. Menganalisis prasyarat dan miskonsepsi.
3. Meminta AI menyusun kerangka modul.
4. Memeriksa kerangka.
5. Meminta AI mengembangkan kegiatan belajar satu per satu.
6. Menambahkan representasi kimia.
7. Menyusun latihan dan asesmen.
8. Meminta AI membuat kunci dan umpan balik.
9. Memvalidasi konsep.
10. Menyunting bahasa.
11. Menambahkan remedial dan pengayaan.
12. Menguji keterbacaan.
13. Merevisi modul.
14. Mendokumentasikan penggunaan AI.

Contoh prompt berurutan:

Prompt 1:
“Susun kerangka modul larutan penyangga kelas XI.”

Prompt 2:
“Kembangkan Kegiatan Belajar 1 tentang komponen larutan penyangga.”

Prompt 3:
“Tambahkan representasi partikel dan persamaan kesetimbangan sederhana.”

Prompt 4:
“Tambahkan latihan formatif dan kunci.”

Prompt 5:
“Tinjau bagian ini dari potensi miskonsepsi dan revisi.”

Prompt 6:
“Sederhanakan bahasa untuk siswa SMA.”

Alur bertahap ini lebih aman daripada meminta AI membuat modul penuh sekaligus.

4.2.22 Contoh Alur Kerja Penyusunan Buku Ajar dengan AI

Penyusunan buku ajar lebih kompleks daripada modul. Alur kerja dapat meliputi:

1. Menentukan ruang lingkup buku.
2. Menyusun daftar isi.
3. Menentukan gaya penulisan dan standar istilah.
4. Menyusun struktur tiap bab.
5. Mengembangkan bab secara bertahap.
6. Menyisipkan aktivitas, contoh, dan asesmen.
7. Menyusun glosarium dan peta konsep.
8. Memvalidasi setiap bab.
9. Memeriksa konsistensi antarbab.
10. Menyusun daftar pustaka.
11. Melakukan penyuntingan ilmiah dan bahasa.
12. Melakukan uji keterbacaan atau review sejawat.
13. Merevisi final.

Prompt awal:

“Susun daftar isi buku ajar kimia SMA tentang pembelajaran larutan dan reaksi dalam larutan. Buku terdiri atas 8 bab. Setiap bab harus memuat tujuan, peta konsep, materi, aktivitas, latihan, miskonsepsi, rangkuman, dan asesmen.”

Setelah daftar isi disetujui, prompt per bab:

“Kembangkan Bab 1 bagian 1.1 saja. Jangan menulis satu bab penuh. Gunakan bahasa buku ajar, sertakan contoh, aktivitas, dan pertanyaan cek pemahaman.”

Pendekatan bertahap menjaga kualitas dan konsistensi.

4.2.23 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Kemampuan menggunakan AI untuk menyusun buku ajar dan modul kimia merupakan kompetensi penting bagi guru masa kini. Namun, kompetensi ini bukan hanya kemampuan mengetik prompt. Guru perlu memahami desain instruksional, struktur konsep kimia, miskonsepsi, representasi, asesmen, keterbacaan, dan validasi. AI mempercepat pekerjaan, tetapi tidak menggantikan keahlian tersebut.

Calon guru kimia perlu dilatih membuat modul berbantuan AI secara bertanggung jawab. Mereka dapat diberi tugas menyusun modul satu topik dengan proses terdokumentasi. Tugas tidak hanya

menilai produk akhir, tetapi juga prompt, revisi, validasi, dan refleksi. Dengan demikian, mahasiswa belajar bahwa AI adalah alat bantu desain, bukan pengganti pemahaman.

Contoh tugas:

“Gunakan AI untuk membantu menyusun modul kimia satu topik. Modul harus memuat tujuan, prasyarat, peta konsep, uraian materi, aktivitas, latihan, asesmen, kunci, remedial, pengayaan, dan refleksi. Lampirkan prompt, output AI, revisi, validasi konsep, dan refleksi penggunaan AI.”

Dengan tugas seperti ini, calon guru belajar menjadi kurator, editor, dan validator bahan ajar.

Dengan demikian, AI dapat berperan besar dalam penyusunan buku ajar dan modul pembelajaran kimia. AI dapat membantu membuat kerangka, menulis draf materi, menyusun contoh, latihan, asesmen, rangkuman, remedial, dan pengayaan. Namun, buku ajar dan modul kimia harus tetap dikembangkan melalui proses akademik yang serius: perencanaan, validasi, revisi, penyuntingan, dan uji keterbacaan. Kualitas buku ajar dan modul tidak ditentukan oleh panjangnya output AI, tetapi oleh akurasi konsep, koherensi pedagogis, keterbacaan, aktivitas belajar, asesmen yang relevan, dan kemampuan bahan tersebut membangun pemahaman kimia yang benar.

Subbab berikutnya adalah **4.3 AI untuk Mengembangkan Handout dan Bahan Pengayaan**.

Subbab ini selesai. Ketik ‘lanjut’ atau ‘ya’ untuk melanjutkan ke subbab berikutnya.

4.3 AI untuk Mengembangkan Handout dan Bahan Pengayaan

Handout dan bahan pengayaan memiliki peran strategis dalam pembelajaran kimia karena keduanya membantu guru menyediakan materi yang ringkas, terarah, dan fleksibel. Jika buku ajar dan modul biasanya memiliki cakupan lebih luas dan sistematis, handout lebih berfungsi sebagai bahan pendamping yang dapat digunakan dalam satu pertemuan atau satu subtopik tertentu. Handout dapat berisi ringkasan konsep, tabel perbandingan, contoh soal, diagram, peta ide, glosarium mini, latihan singkat, atau pertanyaan reflektif. Sementara itu, bahan pengayaan ditujukan untuk memperluas, memperdalam, atau mengontekstualisasikan pemahaman siswa yang telah menguasai kompetensi dasar.

Dalam pembelajaran kimia, handout sangat berguna karena banyak materi memerlukan penekanan konsep inti. Siswa sering menghadapi informasi yang padat: istilah baru, simbol, rumus, persamaan reaksi, satuan, grafik, dan hubungan antar konsep. Handout yang baik membantu siswa melihat struktur utama materi tanpa tenggelam dalam uraian panjang. Misalnya, pada topik asam-basa, handout dapat memuat tabel perbedaan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer. Pada topik elektrokimia, handout dapat memuat perbandingan anode-katode pada sel volta dan sel elektrolisis. Pada topik kesetimbangan, handout dapat memuat ringkasan kesetimbangan dinamis, Q, K, dan pengaruh gangguan.

AI dapat membantu guru menyusun handout secara cepat, tetapi guru tetap harus memastikan akurasi, keterbacaan, dan kesesuaian dengan tujuan pembelajaran. AI dapat menghasilkan teks yang rapi, tetapi belum tentu memilih konsep paling penting. Handout yang terlalu panjang akan

kehilangan fungsi ringkasnya. Handout yang terlalu sederhana dapat menghilangkan makna kimia yang penting. Oleh karena itu, guru perlu memberi prompt yang jelas: topik, jenjang, batas materi, tujuan, format, panjang, konsep kunci, miskonsepsi, dan jenis latihan yang diinginkan.

Bahan pengayaan juga dapat dikembangkan dengan bantuan AI. Pengayaan tidak boleh hanya berarti "soal lebih banyak". Pengayaan seharusnya memberi kesempatan kepada siswa untuk memperluas wawasan, menerapkan konsep pada konteks baru, menganalisis data, mengevaluasi klaim, membaca kasus, membuat produk, atau menghubungkan kimia dengan teknologi, lingkungan, kesehatan, pangan, energi, dan industri. AI dapat membantu membuat bahan pengayaan yang kontekstual dan menantang, tetapi guru perlu menjaga agar bahan tersebut tidak terlalu teknis, tidak melampaui jenjang secara berlebihan, dan tidak memuat klaim ilmiah yang tidak terverifikasi.

4.3.1 Hakikat Handout dalam Pembelajaran Kimia

Handout merupakan bahan ajar ringkas yang disusun untuk mendukung kegiatan pembelajaran tertentu. Handout dapat diberikan sebelum pembelajaran sebagai bahan prabaca, selama pembelajaran sebagai panduan, atau setelah pembelajaran sebagai rangkuman dan latihan. Dalam kimia, handout sering digunakan untuk membantu siswa memahami konsep inti yang memiliki banyak istilah dan hubungan. Handout juga dapat membantu guru mengefisienkan waktu karena siswa tidak harus menyalin semua penjelasan dari papan tulis.

Handout yang baik memiliki beberapa karakter. Pertama, **ringkas tetapi bermakna**. Handout tidak perlu memuat seluruh isi buku ajar. Ia harus memilih inti konsep. Kedua, **terstruktur secara visual**. Tabel, bagan, poin penting, kotak konsep, dan contoh singkat dapat membantu keterbacaan. Ketiga, **menghubungkan representasi kimia**. Handout kimia sebaiknya tidak hanya berupa teks, tetapi juga memuat simbol, persamaan, grafik, model partikel, atau diagram jika relevan. Keempat, **menyertakan latihan singkat**. Handout yang baik tidak hanya dibaca, tetapi digunakan siswa untuk berpikir. Kelima, **mengantisipasi miskonsepsi**. Bagian "Hati-hati" atau "Jangan Keliru" sangat berguna dalam handout kimia.

AI dapat membantu membuat handout dengan format yang konsisten. Guru dapat meminta AI menyusun handout satu halaman atau dua halaman sesuai kebutuhan. Namun, guru perlu menghindari prompt yang terlalu umum. Perintah seperti "buat handout asam-basa" dapat menghasilkan materi yang terlalu luas. Prompt yang lebih baik harus membatasi fokus.

Contoh prompt:

"Bertindaklah sebagai guru kimia SMA kelas XI. Buat handout ringkas dua halaman tentang perbedaan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer. Handout harus memuat tujuan pembelajaran, definisi singkat, tabel perbandingan, contoh HCl encer dan CH_3COOH pekat, miskonsepsi umum, dua contoh soal konseptual, lima pertanyaan cek pemahaman, dan rangkuman. Gunakan bahasa siswa SMA dan pastikan konsep akurat."

Prompt seperti ini menghasilkan handout yang lebih terarah dan siap disunting.

4.3.2 Fungsi Handout dalam Pembelajaran Kimia

Handout memiliki beberapa fungsi. Pertama, handout berfungsi sebagai **pemandu perhatian**. Dalam pembelajaran kimia, siswa sering kesulitan membedakan konsep inti dan informasi tambahan. Handout membantu menyoroti bagian yang harus dipahami. Misalnya, pada materi laju reaksi, handout dapat menekankan hubungan suhu, konsentrasi, luas permukaan, katalis, energi aktivasi, dan tumbukan efektif.

Kedua, handout berfungsi sebagai **alat penghubung representasi**. Banyak siswa mampu menghafal rumus tetapi tidak memahami makna. Handout dapat menyajikan satu konsep dalam beberapa representasi. Misalnya, pada materi elektrolit, handout dapat memuat tabel data daya hantar, gambar partikel verbal, dan persamaan disosiasi. Dengan demikian, siswa melihat hubungan antara pengamatan, partikel, dan simbol.

Ketiga, handout berfungsi sebagai **alat remedial cepat**. Guru dapat membuat handout khusus untuk memperbaiki miskonsepsi. Misalnya, handout "Asam Kuat Tidak Sama dengan Asam Pekat" atau "Elektron Tidak Bergerak Bebas dalam Larutan Elektrolit". Handout semacam ini dapat digunakan setelah asesmen diagnostik.

Keempat, handout berfungsi sebagai **bahan prabaca**. Dalam model *flipped classroom*, siswa membaca handout sebelum kelas. Waktu kelas kemudian digunakan untuk diskusi, eksperimen, atau pemecahan masalah. AI dapat membantu membuat handout prabaca dengan pertanyaan pemantik.

Kelima, handout berfungsi sebagai **pendukung latihan**. Handout dapat memuat contoh soal dan langkah penyelesaian. Pada stoikiometri, handout dapat berisi peta langkah: setarakan reaksi, ubah massa ke mol, gunakan perbandingan mol, ubah ke satuan yang diminta, periksa satuan.

Keenam, handout berfungsi sebagai **pengingat konsep**. Setelah pembelajaran, siswa dapat menggunakan handout untuk belajar mandiri. Karena itu, handout perlu rapi dan mudah dipahami.

4.3.3 Prinsip Mengembangkan Handout Kimia dengan AI

Prinsip pertama adalah **fokus pada satu tujuan utama**. Handout tidak boleh membahas terlalu banyak konsep. Jika handout terlalu padat, siswa kehilangan arah. Misalnya, handout tentang "asam-basa" sebaiknya difokuskan menjadi "perbedaan asam kuat dan asam lemah" atau "cara membaca kurva titrasi", bukan semua topik asam-basa sekaligus.

Prinsip kedua adalah **menyusun informasi secara hierarkis**. Bagian paling penting harus muncul lebih dahulu. Handout dapat dimulai dari pertanyaan pemantik, konsep inti, tabel perbandingan, contoh, latihan, dan refleksi. AI dapat diminta menyusun struktur seperti ini.

Prinsip ketiga adalah **menggunakan tabel dan bagan**. Kimia sering menuntut perbandingan. Tabel sangat berguna untuk membandingkan elektrolit kuat-lemah-nonelektrolit, ikatan ion-kovalen-logam, asam kuat-lemah, sel volta-elektrolisis, atau gaya antarmolekul. AI dapat membantu membuat tabel perbandingan, tetapi guru harus memeriksa isi tabel.

Prinsip keempat adalah **menyertakan contoh dan non-contoh**. Misalnya, NaCl(aq) sebagai elektrolit kuat, CH_3COOH(aq) sebagai elektrolit lemah, dan gula(aq) sebagai nonelektrolit. Non-contoh membantu siswa memahami batas konsep.

Prinsip kelima adalah **menyertakan miskonsepsi umum**. Handout kimia sebaiknya memiliki kotak "Jangan Keliru". Misalnya, "asam kuat tidak selalu berarti larutan lebih pekat", "katalis tidak mengubah nilai K", "pada kesetimbangan reaksi tidak berhenti".

Prinsip keenam adalah **memuat latihan singkat**. Handout perlu memberi kesempatan siswa memeriksa pemahaman. Latihan tidak harus banyak; yang penting tepat sasaran.

Prinsip ketujuh adalah **menggunakan bahasa sesuai jenjang**. AI kadang menggunakan istilah terlalu teknis. Guru dapat meminta AI menyederhanakan bahasa tanpa menghilangkan akurasi ilmiah.

4.3.4 Prompt untuk Membuat Handout Konseptual

Handout konseptual bertujuan membantu siswa memahami konsep inti. Jenis handout ini cocok untuk materi yang sering disalahpahami. AI dapat membantu membuat handout konseptual yang berisi definisi, penjelasan, tabel, analogi terbatas, miskonsepsi, dan pertanyaan cek pemahaman.

Contoh prompt:

"Buat handout konseptual satu halaman untuk siswa SMA kelas X tentang larutan elektrolit dan nonelektrolit. Fokus pada peran ion sebagai pembawa muatan dalam larutan. Handout harus memuat fenomena uji daya hantar, penjelasan partikel, tabel perbandingan elektrolit kuat-lemah-nonelektrolit, contoh NaCl, CH_3COOH, dan gula, kotak miskonsepsi 'elektron tidak bergerak bebas dalam larutan', serta lima pertanyaan cek pemahaman."

Prompt ini menghasilkan handout yang menargetkan konsep inti dan miskonsepsi.

Untuk kesetimbangan:

"Buat handout konseptual tentang kesetimbangan dinamis untuk siswa SMA kelas XI. Handout harus menjelaskan bahwa reaksi maju dan balik tetap berlangsung dengan laju sama, konsentrasi tampak konstan tetapi tidak harus sama, dan katalis tidak mengubah K. Sertakan grafik konseptual, analogi terbatas, miskonsepsi umum, dan pertanyaan reflektif."

Untuk ikatan kimia:

"Buat handout konseptual tentang perbedaan ikatan ion, kovalen, dan logam. Sertakan dasar pembentukan ikatan, contoh zat, sifat umum, representasi partikel sederhana, dan miskonsepsi yang perlu dihindari."

Handout konseptual harus jelas dan tidak terlalu panjang.

4.3.5 Prompt untuk Membuat Handout Prosedural

Handout prosedural membantu siswa mengikuti langkah penyelesaian soal atau prosedur analisis. Jenis ini cocok untuk stoikiometri, molaritas, pH, termokimia, persamaan reaksi, dan elektrokimia. AI dapat membantu membuat peta langkah yang sistematis.

Contoh prompt:

"Buat handout prosedural dua halaman tentang langkah menyelesaikan soal stoikiometri massa-mol untuk siswa SMA kelas X. Handout harus memuat peta langkah: tulis dan setarakan reaksi, ubah massa ke mol, gunakan perbandingan koefisien, ubah mol ke satuan yang diminta, periksa satuan. Sertakan satu contoh lengkap, dua latihan bertahap, kunci singkat, dan kesalahan umum."

Untuk pH:

"Buat handout prosedural tentang perhitungan pH asam kuat dan basa kuat untuk siswa SMA kelas XI. Sertakan prasyarat, langkah umum, contoh HCl dan NaOH, latihan, kunci, dan catatan miskonsepsi bahwa semua asam dapat dihitung langsung dengan pH = -log konsentrasi awal."

Untuk elektrokimia:

"Buat handout langkah menentukan potensial sel volta. Sertakan cara menentukan anode, katode, reaksi oksidasi-reduksi, arah elektron, rumus E°sel, contoh, latihan, dan kesalahan umum."

Handout prosedural harus menekankan alasan di balik langkah, bukan hanya algoritma.

4.3.6 Prompt untuk Membuat Handout Berbasis Data

Handout berbasis data membantu siswa belajar menafsirkan tabel, grafik, atau hasil eksperimen. Kimia sebagai ilmu empiris sangat membutuhkan jenis handout ini. AI dapat membantu membuat data latihan yang realistis. Jika data dibuat AI, harus diberi label sebagai data simulatif.

Contoh prompt:

"Buat handout berbasis data tentang faktor yang memengaruhi laju reaksi. Sajikan tabel data simulatif waktu reaksi pada variasi suhu dan luas permukaan. Handout harus memuat pertanyaan analisis pola, klaim-bukti-alasan, hubungan dengan teori tumbukan, dan latihan interpretasi data. Beri keterangan bahwa data adalah data latihan."

Untuk titrasi:

"Buat handout berbasis grafik titrasi asam kuat-basa kuat. Jelaskan bagian awal, perubahan pH bertahap, lonjakan pH dekat titik ekuivalen, titik ekuivalen, dan daerah setelah ekuivalen. Sertakan pertanyaan membaca grafik dan miskonsepsi titik akhir-titik ekuivalen."

Untuk kelarutan:

“Buat handout berbasis grafik kelarutan terhadap suhu. Siswa harus membaca data, membandingkan zat, memprediksi kristalisasi, dan menyimpulkan pengaruh suhu. Sertakan pertanyaan analisis.”

Handout berbasis data membangun literasi sains dan penalaran berbasis bukti.

4.3.7 Prompt untuk Membuat Handout Berbasis Representasi Kimia

Handout berbasis representasi kimia bertujuan menghubungkan makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. AI dapat membantu membuat struktur handout yang eksplisit.

Contoh prompt:

“Buat handout berbasis tiga level representasi untuk materi reaksi pengendapan. Gunakan contoh pencampuran larutan $AgNO_3$ dan NaCl. Handout harus memuat pengamatan makroskopik, penjelasan partikel ion, persamaan molekul, persamaan ion lengkap, persamaan ion bersih, pertanyaan cek pemahaman, dan miskonsepsi umum.”

Untuk elektrolit:

“Buat handout tiga level representasi tentang larutan NaCl dan larutan gula. Level makroskopik: hasil uji daya hantar. Level submikroskopik: ion dan molekul netral. Level simbolik: persamaan disosiasi NaCl dan representasi gula tetap sebagai molekul. Sertakan tabel perbandingan dan latihan.”

Handout semacam ini sangat penting karena salah satu kesulitan utama siswa dalam kimia adalah berpindah antarrepresentasi.

4.3.8 AI untuk Mengembangkan Bahan Pengayaan Kimia

Bahan pengayaan ditujukan bagi siswa yang telah mencapai tujuan dasar dan memerlukan tantangan tambahan. Pengayaan harus memperluas wawasan dan memperdalam pemahaman. AI dapat membantu membuat bahan pengayaan berbasis konteks, literasi sains, studi kasus, proyek mini, analisis data, atau evaluasi klaim.

Pengayaan dapat berbentuk:

1. Bacaan kontekstual.
2. Studi kasus.
3. Analisis artikel populer.
4. Proyek mini.
5. Soal HOTS.
6. Infografik.
7. Eksplorasi simulasi.
8. Kajian teknologi.
9. Diskusi isu sosiosaintifik.

10. Evaluasi klaim ilmiah.

Contoh prompt:

“Buat bahan pengayaan tentang aplikasi elektrokimia dalam baterai lithium-ion untuk siswa SMA kelas XII. Penjelasan harus konseptual, tidak terlalu teknis, menghubungkan redoks, aliran elektron, migrasi ion, energi, dan isu daur ulang. Sertakan studi kasus, pertanyaan analisis, dan refleksi lingkungan.”

Untuk larutan penyangga:

“Buat bahan pengayaan tentang larutan penyangga dalam darah dan produk farmasi untuk siswa SMA kelas XI. Jelaskan secara konseptual, hindari detail biokimia yang terlalu rumit, sertakan pertanyaan HOTS dan batasan penjelasan.”

Bahan pengayaan perlu menjaga keseimbangan antara kedalaman dan keterjangkauan.

4.3.9 Prinsip Bahan Pengayaan Berbantuan AI

Prinsip pertama adalah **berangkat dari kompetensi dasar yang sudah dikuasai**. Pengayaan bukan pengganti pembelajaran inti. Siswa perlu memahami konsep dasar sebelum masuk pengayaan. Misalnya, sebelum bahan pengayaan baterai, siswa harus memahami redoks dan sel volta.

Prinsip kedua adalah **menambah kedalaman, bukan hanya jumlah**. Memberi sepuluh soal serupa bukan pengayaan yang baik. Pengayaan sebaiknya menuntut siswa menganalisis, mengevaluasi, menghubungkan, atau mencipta.

Prinsip ketiga adalah **kontekstual dan bermakna**. Pengayaan dapat menghubungkan kimia dengan energi, lingkungan, industri, pangan, kesehatan, material, atau teknologi. Namun, konteks harus akurat.

Prinsip keempat adalah **berbasis bukti**. Bahan pengayaan dapat memuat data, grafik, atau klaim yang harus dievaluasi. Ini melatih literasi sains.

Prinsip kelima adalah **tidak terlalu teknis**. AI dapat menghasilkan penjelasan perguruan tinggi untuk siswa SMA. Guru perlu membatasi kedalaman.

Prinsip keenam adalah **menyertakan refleksi**. Pengayaan yang baik tidak hanya menambah informasi, tetapi mengajak siswa berpikir tentang dampak, keterbatasan, dan hubungan dengan kehidupan.

Prinsip ketujuh adalah **memverifikasi sumber**. Jika bahan pengayaan memuat informasi teknologi terbaru, guru perlu memeriksa kebenarannya melalui sumber valid.

4.3.10 Prompt untuk Bahan Pengayaan Berbasis Studi Kasus

Studi kasus membantu siswa menerapkan konsep kimia pada masalah nyata. AI dapat membantu membuat narasi kasus, data, pertanyaan, dan rubrik.

Contoh prompt:

“Buat bahan pengayaan berbasis studi kasus tentang korosi jembatan besi di daerah pesisir untuk siswa SMA kelas XII. Bahan harus memuat narasi kasus, data lingkungan sederhana, konsep redoks, faktor yang mempercepat korosi, beberapa alternatif pencegahan, pertanyaan analisis, dan refleksi biaya-lingkungan. Gunakan bahasa siswa SMA.”

Untuk plastik:

“Buat studi kasus pengayaan tentang klaim kantong plastik biodegradable. Siswa diminta mengevaluasi klaim berdasarkan konsep polimer, kondisi degradasi, dan dampak lingkungan. Sertakan teks kasus, data sederhana, pertanyaan argumentatif, dan rubrik.”

Untuk asam-basa:

“Buat studi kasus pengayaan tentang pH tanah dan pertumbuhan tanaman. Jelaskan secara sederhana hubungan pH dengan ketersediaan unsur hara tanpa memberi rekomendasi pertanian teknis berlebihan. Sertakan data latihan dan pertanyaan analisis.”

Studi kasus harus menghindari klaim yang melampaui data.

4.3.11 Prompt untuk Bahan Pengayaan Berbasis Isu Sosiosaintifik

Isu sosiosaintifik adalah isu yang menggabungkan sains, teknologi, masyarakat, lingkungan, ekonomi, dan etika. Dalam kimia, isu seperti plastik, baterai, pupuk, energi, pencemaran air, kosmetik, pangan, dan bahan pembersih sangat relevan. AI dapat membantu mengembangkan bahan pengayaan berbasis isu sosiosaintifik.

Contoh prompt:

“Buat bahan pengayaan berbasis isu sosiosaintifik tentang penggunaan plastik sekali pakai untuk siswa SMA. Bahan harus menghubungkan konsep polimer, sifat bahan, daur ulang, dampak lingkungan, alternatif material, dan evaluasi klaim. Sertakan pertanyaan diskusi berbasis bukti, tugas argumentasi, dan refleksi etika.”

Untuk baterai:

“Buat bahan pengayaan isu sosiosaintifik tentang kendaraan listrik dan baterai. Hubungkan dengan konsep elektrokimia, kebutuhan energi, daur ulang, bahan baku, dan dampak lingkungan. Hindari klaim sepihak. Sertakan pertanyaan pro-kontra berbasis bukti.”

Bahan pengayaan berbasis isu sosiosaintifik membantu siswa memahami bahwa kimia berperan dalam keputusan masyarakat. Namun, guru harus menjaga diskusi tetap berbasis konsep dan bukti.

4.3.12 Prompt untuk Bahan Pengayaan Berbasis Literasi AI

Karena buku ini membahas AI dalam pembelajaran kimia, bahan pengayaan juga dapat mengajak siswa menggunakan AI secara kritis. Siswa dapat diminta mengevaluasi jawaban AI, membandingkan dengan buku teks, atau memperbaiki penjelasan AI yang salah.

Contoh prompt:

"Buat bahan pengayaan literasi AI untuk materi kesetimbangan kimia. Siswa diberi contoh jawaban AI yang salah: 'Pada keadaan setimbang, reaksi berhenti karena jumlah reaktan dan produk sama.' Siswa diminta mengidentifikasi kesalahan, memperbaiki konsep, menulis jawaban revisi, dan merefleksikan mengapa output AI harus diverifikasi. Sertakan rubrik."

Untuk elektrolit:

"Buat aktivitas pengayaan untuk mengevaluasi jawaban AI tentang larutan elektrolit. Jawaban AI mengandung kesalahan bahwa elektron bergerak bebas dalam larutan. Siswa harus menemukan kesalahan, menjelaskan konsep ion, dan menulis ulang jawaban yang benar."

Aktivitas ini menggabungkan pengayaan konsep kimia dan literasi AI.

4.3.13 AI untuk Membuat Bahan Pengayaan Berbasis Proyek Mini

Proyek mini dapat digunakan sebagai pengayaan karena memberi siswa kesempatan menerapkan konsep pada produk atau investigasi kecil. AI dapat membantu merancang proyek yang aman dan realistis.

Contoh prompt:

"Buat proyek mini pengayaan tentang indikator alami asam-basa untuk siswa SMA kelas XI. Proyek harus aman, menggunakan bahan yang mudah diperoleh, tidak menggunakan bahan berbahaya, dan menghasilkan produk berupa poster ilmiah. Sertakan tujuan, langkah umum, data yang dikumpulkan, pertanyaan analisis, rubrik, dan refleksi."

Untuk korosi:

"Buat proyek mini pengayaan tentang faktor yang memengaruhi korosi paku besi menggunakan kondisi aman. Siswa mengamati perubahan selama beberapa hari, mencatat data visual, menjelaskan dengan konsep redoks, dan membuat rekomendasi pencegahan. Sertakan K3 dan rubrik."

Proyek mini harus tetap memperhatikan keselamatan. AI dapat memberi ide, tetapi guru harus menyetujui prosedur.

4.3.14 AI untuk Menyusun Bahan Pengayaan Berbasis Bacaan Populer Ilmiah

Bahan pengayaan dapat berupa bacaan populer ilmiah yang ditulis dengan bahasa menarik tetapi tetap akurat. AI dapat membantu membuat bacaan pendek yang menghubungkan konsep kimia dengan kehidupan. Guru harus memverifikasi isi, terutama jika terkait teknologi atau kesehatan.

Contoh prompt:

"Tulis bacaan populer ilmiah 800 kata untuk pengayaan siswa SMA tentang mengapa baterai dapat menghasilkan listrik. Jelaskan secara konseptual hubungan reaksi redoks, aliran elektron, dan perpindahan ion. Hindari detail teknis yang terlalu rumit. Sertakan lima pertanyaan pemahaman dan dua pertanyaan kritis."

Untuk pangan:

"Tulis bacaan pengayaan tentang reaksi pencoklatan pada buah dan hubungannya dengan oksidasi secara sederhana. Hindari klaim kesehatan berlebihan. Sertakan pertanyaan analisis dan refleksi."

Bacaan populer ilmiah dapat meningkatkan minat siswa terhadap kimia.

4.3.15 AI untuk Menyusun Handout Remedial-Pengayaan Berpasangan

Salah satu strategi yang efektif adalah membuat dua versi handout: remedial dan pengayaan. Handout remedial memperbaiki kesulitan, sedangkan handout pengayaan memperluas pemahaman. AI dapat membantu membuat pasangan ini.

Contoh prompt:

"Buat dua handout untuk materi larutan elektrolit. Handout A adalah remedial untuk siswa yang belum memahami peran ion. Handout B adalah pengayaan untuk siswa yang sudah memahami elektrolit dan ingin mempelajari aplikasinya pada baterai dan cairan tubuh secara konseptual. Keduanya harus memuat tujuan, materi inti, latihan, dan refleksi."

Untuk stoikiometri:

"Buat handout remedial tentang konsep mol dan handout pengayaan tentang pereaksi pembatas. Gunakan bahasa SMA, sertakan contoh, latihan, kunci, dan kesalahan umum."

Pasangan handout membantu diferensiasi pembelajaran.

4.3.16 AI untuk Menyusun Format Handout yang Efektif

Format handout perlu dirancang agar mudah dibaca. AI dapat membantu membuat struktur format. Format umum handout kimia dapat mencakup:

1. Judul.

2. Tujuan belajar.
3. Pertanyaan pemantik.
4. Konsep inti.
5. Tabel/gambar/diagram.
6. Contoh.
7. Kotak miskonsepsi.
8. Latihan singkat.
9. Refleksi.
10. Rangkuman satu kalimat.

Prompt:

"Buat template handout kimia satu halaman yang efektif. Template harus memuat judul, tujuan, pertanyaan pemantik, konsep inti, tabel/diagram, contoh, miskonsepsi, latihan singkat, refleksi, dan rangkuman. Jelaskan fungsi tiap bagian."

Template ini dapat digunakan guru untuk berbagai topik.

Untuk bahan pengayaan, format dapat mencakup:

1. Judul kasus.
2. Konteks.
3. Konsep kimia terkait.
4. Data atau informasi.
5. Pertanyaan analisis.
6. Tugas produk.
7. Refleksi etika/sosial.
8. Rubrik singkat.

AI dapat membantu membuat format yang konsisten.

4.3.17 Validasi Handout dan Bahan Pengayaan Berbantuan AI

Handout dan bahan pengayaan harus divalidasi sebelum digunakan. Validasi handout mencakup ketepatan konsep, keringkasan, keterbacaan, kesesuaian tujuan, representasi kimia, latihan, dan miskonsepsi. Validasi bahan pengayaan mencakup akurasi, kelayakan jenjang, kedalaman, relevansi konteks, kualitas data, sumber, dan etika.

Prompt validasi:

"Tinjau handout kimia berikut dari aspek akurasi konsep, keringkasan, keterbacaan, kesesuaian jenjang, hubungan representasi kimia, miskonsepsi, dan kualitas latihan. Berikan saran revisi konkret."

Untuk pengayaan:

“Tinjau bahan pengayaan berikut. Periksa apakah materi terlalu sulit untuk siswa SMA, apakah klaim ilmiah akurat, apakah konteks relevan, apakah pertanyaan menuntut analisis, dan apakah ada risiko miskonsepsi atau klaim berlebihan.”

Validasi sangat penting karena bahan pengayaan sering mengambil konteks luas yang dapat berubah atau kompleks.

4.3.18 Tantangan Pengembangan Handout dan Pengayaan dengan AI

Tantangan pertama adalah **handout menjadi terlalu panjang**. AI cenderung memberikan penjelasan lengkap. Guru perlu meminta batas halaman atau jumlah kata. Tantangan kedua adalah **materi terlalu umum**. Jika prompt tidak spesifik, handout tidak fokus. Tantangan ketiga adalah **kesalahan konsep**. Guru harus memeriksa istilah dan contoh. Tantangan keempat adalah **pengayaan terlalu sulit**. AI dapat memasukkan konsep perguruan tinggi yang belum diperlukan siswa SMA.

Tantangan kelima adalah **konteks tidak akurat**. Bahan pengayaan tentang baterai, plastik, pangan, atau lingkungan perlu diverifikasi. Tantangan keenam adalah **visual tidak tepat**. Jika AI membantu membuat infografik atau diagram, guru harus memeriksa representasi kimia. Tantangan ketujuh adalah **latihan tidak sesuai tujuan**. AI kadang membuat soal hafalan, padahal pengayaan membutuhkan analisis. Tantangan kedelapan adalah **kurangnya diferensiasi**. Handout remedial dan pengayaan harus benar-benar berbeda fungsi, bukan hanya panjangnya berbeda.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, guru perlu memberi prompt spesifik, membatasi cakupan, meminta format ringkas, memvalidasi konsep, dan melakukan revisi.

4.3.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu menguasai strategi mengembangkan handout dan bahan pengayaan berbantuan AI karena keduanya sangat praktis digunakan dalam kelas. Handout membantu guru menyajikan konsep inti secara ringkas dan jelas. Bahan pengayaan membantu siswa yang sudah siap untuk belajar lebih jauh. AI dapat mempercepat penyusunan, tetapi guru tetap harus menjadi kurator dan validator.

Calon guru kimia dapat dilatih membuat handout dan bahan pengayaan sebagai bagian dari portofolio. Mereka dapat diminta membuat satu handout konseptual, satu handout prosedural, satu bahan pengayaan berbasis studi kasus, dan satu bahan pengayaan berbasis literasi AI. Setiap produk harus disertai prompt, output AI, revisi, validasi konsep, dan refleksi.

Contoh tugas:

“Gunakan AI untuk membantu membuat handout dan bahan pengayaan pada satu topik kimia SMA. Produk harus mencakup handout ringkas, bahan pengayaan kontekstual, latihan, refleksi, dan validasi konsep. Lampirkan prompt, output AI, revisi, dan alasan revisi.”

Tugas seperti ini melatih calon guru menggunakan AI secara produktif dan kritis.

Dengan demikian, AI dapat membantu mengembangkan handout dan bahan pengayaan kimia secara cepat, variatif, dan kontekstual. Handout berfungsi sebagai bahan ringkas untuk menegaskan konsep inti, menghubungkan representasi, dan memperbaiki miskonsepsi. Bahan pengayaan berfungsi memperluas dan memperdalam pemahaman melalui konteks, studi kasus, proyek mini, literasi sains, dan evaluasi klaim. Namun, keduanya harus tetap divalidasi dari sisi akurasi konsep, kesesuaian jenjang, keterbacaan, dan relevansi pedagogis. Handout dan pengayaan berbantuan AI yang baik bukan hanya memperindah bahan ajar, tetapi membantu siswa memahami kimia secara lebih tajam, luas, dan bermakna.

4.4 AI untuk Penyusunan LKPD dan Lembar Aktivitas Peserta Didik

LKPD atau Lembar Kerja Peserta Didik merupakan perangkat pembelajaran yang sangat penting dalam pembelajaran kimia karena berfungsi mengarahkan peserta didik untuk aktif membangun pengetahuan melalui kegiatan terstruktur. LKPD tidak sama dengan kumpulan soal. LKPD yang baik harus memandu siswa melakukan pengamatan, prediksi, diskusi, eksperimen, analisis data, penyusunan kesimpulan, refleksi, dan asesmen diri. Dalam pembelajaran kimia, LKPD memiliki peran khusus karena konsep kimia sering kali abstrak, multirepresentasional, dan memerlukan keterhubungan antara fenomena makroskopik, model submikroskopik, serta simbol kimia.

AI dapat membantu guru menyusun LKPD dan lembar aktivitas secara lebih cepat, variatif, dan adaptif. Guru dapat meminta AI membuat rancangan LKPD berbasis inkuiri, praktikum, simulasi, problem-based learning, project-based learning, STEM, literasi sains, argumentasi ilmiah, atau pembelajaran berdiferensiasi. AI juga dapat membantu menyusun tujuan kegiatan, fenomena pemantik, langkah aktivitas, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, rubrik, refleksi, dan tindak lanjut. Namun, hasil LKPD dari AI tetap harus divalidasi secara ketat, terutama dari sisi akurasi konsep kimia, keselamatan praktikum, kesesuaian jenjang, keterlaksanaan di kelas, serta keselarasan dengan tujuan pembelajaran.

Dalam pembelajaran kimia, LKPD yang dibuat dengan bantuan AI harus menghindari dua kelemahan umum. Kelemahan pertama adalah LKPD yang hanya berisi ringkasan materi dan soal-soal latihan. Bentuk seperti ini belum benar-benar mengaktifkan siswa. Kelemahan kedua adalah LKPD yang terlalu prosedural, terutama pada praktikum, sehingga siswa hanya mengikuti instruksi tanpa berpikir. LKPD kimia yang baik harus memberi ruang bagi siswa untuk memprediksi, mengamati, membandingkan, menafsirkan, memberi alasan, dan menarik kesimpulan berbasis bukti.

4.4.1 Hakikat LKPD dalam Pembelajaran Kimia

LKPD adalah perangkat belajar yang dirancang untuk memandu siswa melakukan aktivitas tertentu agar mencapai tujuan pembelajaran. Dalam pembelajaran kimia, LKPD dapat digunakan untuk kegiatan praktikum, diskusi data, simulasi, pemecahan masalah, proyek mini, studi kasus, analisis grafik, latihan representasi partikel, atau refleksi konsep. LKPD membantu guru memindahkan pusat pembelajaran dari guru sebagai pemberi informasi menuju siswa sebagai pembangun pemahaman.

LKPD yang baik memiliki beberapa ciri utama. Pertama, LKPD memiliki tujuan pembelajaran yang jelas. Siswa harus mengetahui kemampuan apa yang akan dicapai. Kedua, LKPD memuat aktivitas yang relevan dengan tujuan. Jika tujuan menafsirkan data, maka LKPD harus menyediakan data dan pertanyaan analisis. Jika tujuan memahami ion dalam larutan, LKPD harus memuat aktivitas representasi partikel. Ketiga, LKPD memberi instruksi yang jelas. Siswa tidak boleh bingung tentang apa yang harus dilakukan.

Keempat, LKPD harus menuntut penalaran. Pertanyaan dalam LKPD tidak cukup berupa "apa definisi..." tetapi perlu mengarahkan siswa menjelaskan "mengapa", "bagaimana", "berdasarkan data apa", dan "apa kesimpulannya". Kelima, LKPD harus memuat ruang untuk mencatat data, jawaban, sketsa, atau refleksi. Keenam, LKPD harus memuat asesmen formatif atau indikator keberhasilan. Ketujuh, jika LKPD berkaitan dengan praktikum, LKPD harus memuat K3 secara eksplisit.

AI dapat membantu guru membuat struktur LKPD yang lengkap. Akan tetapi, guru perlu memberi prompt yang tepat. Prompt yang terlalu umum seperti "buatkan LKPD elektrolit" dapat menghasilkan lembar kerja yang dangkal. Prompt yang lebih baik harus menyebut model kegiatan, tujuan, jenjang, durasi, alat-bahan, miskonsepsi target, dan bentuk output.

Contoh prompt:

"Bertindaklah sebagai guru kimia SMA dan pengembang LKPD. Buat LKPD inkuiri terbimbing tentang uji daya hantar larutan elektrolit dan nonelektrolit untuk siswa kelas X. Tujuan: siswa mampu membedakan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit berdasarkan data nyala lampu, gelembung, dan jumlah ion bebas dalam larutan. Gunakan baterai tegangan rendah, bukan listrik PLN. Sertakan judul, tujuan, fenomena pemantik, prediksi, alat-bahan, K3, prosedur, tabel data, pertanyaan analisis, representasi partikel, kesimpulan berbasis data, refleksi, dan rubrik singkat."

Prompt semacam ini akan menghasilkan LKPD yang lebih terarah dan aman.

4.4.2 Komponen Utama LKPD Kimia

LKPD kimia yang baik biasanya memuat beberapa komponen. Komponen pertama adalah **identitas LKPD**, meliputi judul, mata pelajaran, kelas, topik, alokasi waktu, dan model pembelajaran. Identitas ini membantu guru dan siswa memahami konteks penggunaan LKPD.

Komponen kedua adalah **tujuan pembelajaran**. Tujuan harus spesifik dan operasional. Misalnya, "siswa mampu menjelaskan perbedaan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit berdasarkan jumlah ion bebas dan data daya hantar listrik." Tujuan semacam ini lebih baik daripada "siswa memahami elektrolit".

Komponen ketiga adalah **prasyarat konsep**. Dalam kimia, prasyarat penting karena konsep saling berjenjang. LKPD elektrokimia memerlukan prasyarat redoks. LKPD larutan penyangga memerlukan prasyarat asam-basa dan kesetimbangan. LKPD stoikiometri memerlukan prasyarat mol dan persamaan reaksi.

Komponen keempat adalah **fenomena pemantik atau masalah awal**. Fenomena ini memancing rasa ingin tahu. Misalnya, "Mengapa larutan garam dapat menyalakan lampu pada alat uji elektrolit, sedangkan larutan gula tidak?" Fenomena pemantik harus relevan dan aman.

Komponen kelima adalah **aktivitas siswa**. Aktivitas dapat berupa praktikum, simulasi, diskusi data, analisis kasus, atau proyek. Aktivitas harus disusun bertahap.

Komponen keenam adalah **tabel data atau ruang jawaban**. Siswa perlu tempat untuk menulis pengamatan, hasil pengukuran, prediksi, alasan, dan kesimpulan.

Komponen ketujuh adalah **pertanyaan analisis**. Pertanyaan ini mengarahkan siswa menafsirkan data dan menghubungkannya dengan konsep. Komponen kedelapan adalah **kesimpulan dan refleksi**. Siswa diminta menyusun kesimpulan berdasarkan bukti dan merefleksikan pemahamannya.

Komponen kesembilan adalah **asesmen dan rubrik**. LKPD dapat memuat rubrik singkat agar siswa memahami standar kualitas. Jika LKPD berbasis AI, dapat ditambahkan **catatan etika penggunaan AI**, misalnya larangan membuat data palsu atau menyalin jawaban tanpa verifikasi.

AI dapat membantu menyusun semua komponen ini jika prompt memintanya secara eksplisit.

4.4.3 AI untuk Menyusun LKPD Inkuiri Terbimbing

LKPD inkuiri terbimbing cocok untuk pembelajaran kimia karena membantu siswa menemukan konsep melalui kegiatan yang diarahkan. Dalam inkuiri terbimbing, guru masih menyediakan pertanyaan, prosedur, atau data, tetapi siswa tetap melakukan prediksi, observasi, analisis, dan kesimpulan. Model ini sesuai untuk siswa yang belum sepenuhnya siap melakukan inkuiri terbuka.

AI dapat membantu membuat LKPD inkuiri terbimbing dengan struktur: orientasi fenomena, rumusan masalah, prediksi, pengumpulan data, analisis, pembentukan konsep, kesimpulan, dan refleksi.

Contoh prompt:

"Buat LKPD inkuiri terbimbing tentang faktor yang memengaruhi laju reaksi untuk siswa SMA kelas XI. Fokus pada pengaruh suhu. LKPD harus memuat fenomena pemantik, rumusan masalah, hipotesis, variabel bebas-terikat-kontrol, alat-bahan aman, K3, prosedur, tabel data, pertanyaan analisis, hubungan dengan teori tumbukan, kesimpulan berbasis data, dan refleksi."

Dalam LKPD ini, AI dapat membantu menyusun pertanyaan seperti:

1. Apa yang Anda prediksi terjadi jika suhu dinaikkan?
2. Variabel apa yang diubah dalam percobaan ini?
3. Variabel apa yang harus dibuat tetap?
4. Bagaimana pola waktu reaksi pada suhu berbeda?
5. Bagaimana teori tumbukan menjelaskan pola tersebut?

6. Apakah data Anda mendukung hipotesis?
7. Sumber kesalahan apa yang mungkin terjadi?

Pertanyaan-pertanyaan ini membantu siswa berpikir ilmiah, bukan sekadar mengikuti prosedur.

4.4.4 AI untuk Menyusun LKPD Praktikum Kimia

LKPD praktikum memerlukan perhatian khusus karena menyangkut keselamatan kerja. AI dapat membantu menyusun LKPD praktikum, tetapi guru harus selalu memvalidasi prosedur, alat-bahan, konsentrasi larutan, risiko, dan pengelolaan limbah. Guru tidak boleh menggunakan prosedur dari AI tanpa pemeriksaan.

Prompt untuk LKPD praktikum harus mencantumkan batasan keselamatan. Misalnya:

"Buat LKPD praktikum kimia yang aman untuk siswa SMA kelas X tentang uji elektrolit. Gunakan alat uji dengan baterai tegangan rendah, bukan listrik PLN. Gunakan larutan aman dan encer. Sertakan K3 spesifik, prosedur sederhana, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, dan pengelolaan limbah sesuai arahan guru."

LKPD praktikum harus memuat bagian K3 seperti:

- Gunakan alat sesuai instruksi guru.
- Jangan menggunakan sumber listrik langsung dari PLN.
- Pastikan tangan kering saat merangkai alat.
- Jangan mencicipi atau mencium bahan secara langsung.
- Bersihkan elektroda setelah digunakan.
- Buang limbah sesuai arahan guru.

Selain K3, LKPD praktikum harus mengarahkan siswa memahami konsep. Pada uji elektrolit, siswa harus menjelaskan hubungan nyala lampu dengan jumlah ion bebas. Pada titrasi, siswa harus memahami fungsi indikator, titik akhir, pembacaan buret, dan sumber kesalahan. Pada laju reaksi, siswa harus memahami variabel dan teori tumbukan.

AI dapat membantu membuat tabel data yang sesuai. Misalnya, pada uji elektrolit:

No.	Larutan	Prediksi	Nyala Lampu	Gelembung	Klasifikasi	Alasan

Tabel semacam ini membuat siswa mencatat data dan menafsirkannya.

4.4.5 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis Simulasi

LKPD berbasis simulasi sangat berguna untuk konsep yang sulit diamati langsung. Simulasi dapat membantu siswa memahami gerak partikel, kesetimbangan dinamis, teori tumbukan, bentuk molekul, hukum gas, atau perubahan energi. AI dapat membantu menyusun panduan aktivitas simulasi.

Contoh prompt:

“Buat LKPD berbasis simulasi tentang kesetimbangan dinamis untuk siswa SMA kelas XI. Simulasi menampilkan reaksi maju-balik dan grafik konsentrasi terhadap waktu. LKPD harus memuat tujuan, prediksi, instruksi pengamatan, tabel data, pertanyaan analisis grafik, klarifikasi miskonsepsi, refleksi batas simulasi, dan exit ticket.”

LKPD simulasi harus meminta siswa mencatat observasi. Misalnya:

Tahap Simulasi	Apa yang Diubah	Apa yang Diamati	Penjelasan Konsep

Pertanyaan analisis dapat mencakup:

1. Apa yang terjadi pada konsentrasi reaktan dan produk sebelum setimbang?
2. Apa yang terjadi setelah sistem mencapai setimbang?
3. Apakah reaksi berhenti pada keadaan setimbang?
4. Bagaimana simulasi menunjukkan bahwa reaksi maju dan balik tetap berlangsung?
5. Apa batasan simulasi ini?

Bagian “batas simulasi” penting karena simulasi adalah model. Siswa perlu memahami bahwa model menyederhanakan realitas.

4.4.6 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis Masalah

LKPD berbasis masalah atau problem-based learning membantu siswa menggunakan konsep kimia untuk memahami dan menyelesaikan masalah kontekstual. AI dapat membantu membuat skenario masalah, data sederhana, pertanyaan investigasi, dan produk akhir.

Contoh prompt:

“Buat LKPD problem-based learning tentang korosi besi untuk siswa SMA kelas XII. Skenario: pagar besi di lingkungan pesisir lebih cepat berkarat. LKPD harus mengarahkan siswa menggunakan konsep redoks, faktor lingkungan, dan metode pencegahan korosi. Sertakan masalah awal, informasi pendukung, pertanyaan investigasi, aktivitas kelompok, produk akhir berupa rekomendasi, rubrik, dan refleksi.”

LKPD berbasis masalah harus membuat siswa menganalisis, bukan sekadar membaca. Pertanyaan dapat berupa:

1. Apa masalah utama dalam kasus tersebut?
2. Faktor apa yang diduga mempercepat korosi?
3. Bagaimana konsep redoks menjelaskan korosi?
4. Data apa yang diperlukan untuk memperkuat kesimpulan?
5. Metode pencegahan apa yang paling realistis?
6. Apa kelebihan dan keterbatasan solusi tersebut?

AI dapat membantu membuat skenario yang menarik, tetapi guru harus memastikan konteks dan klaimnya akurat.

4.4.7 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis Proyek

LKPD berbasis proyek memandu siswa menghasilkan produk tertentu melalui proses belajar. Produk dapat berupa poster, infografik, video, model, alat sederhana, laporan investigasi, atau kampanye edukasi. AI dapat membantu menyusun tahapan proyek, jadwal, log kerja, rubrik, dan refleksi.

Contoh prompt:

"Buat LKPD proyek kimia tentang indikator alami asam-basa untuk siswa SMA kelas XI. Proyek berlangsung dua minggu. Siswa memilih bahan tumbuhan yang aman, membuat ekstrak indikator, menguji pada larutan aman, mencatat perubahan warna, membuat poster ilmiah, dan mempresentasikan hasil. LKPD harus memuat tujuan, pertanyaan pemandu, tahapan proyek, K3, tabel data, log kerja kelompok, rubrik produk, rubrik presentasi, aturan penggunaan AI, dan refleksi individu."

LKPD proyek perlu memiliki checkpoint agar siswa tidak menunda pekerjaan. Misalnya:

Minggu	Kegiatan	Produk Antara
1	Menentukan bahan dan rancangan uji	Rencana proyek
1	Melakukan uji warna	Tabel data
2	Menganalisis hasil	Draft poster
2	Presentasi	Poster final dan refleksi

AI dapat membantu membuat log kerja dan rubrik. Namun, guru harus memvalidasi proyek dari sisi keselamatan dan kelayakan.

4.4.8 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis STEM

LKPD berbasis STEM mengintegrasikan sains, teknologi, rekayasa, dan matematika. Dalam kimia, STEM dapat diterapkan pada proyek alat uji elektrolit sederhana, desain filtrasi air, model molekul, indikator alami, atau analisis energi. AI dapat membantu merancang aktivitas STEM yang terstruktur.

Contoh prompt:

"Buat LKPD STEM untuk materi larutan elektrolit. Tantangan: siswa merancang alat uji elektrolit sederhana menggunakan baterai tegangan rendah. LKPD harus memuat konsep sains tentang ion, aspek teknologi alat uji, proses rekayasa desain, pengukuran atau klasifikasi data, K3, tabel uji, evaluasi desain, dan refleksi."

LKPD STEM harus memuat siklus desain:

1. Identifikasi masalah.
2. Rancang solusi.
3. Buat prototipe.
4. Uji.
5. Evaluasi.
6. Perbaiki.
7. Komunikasikan.

AI dapat membantu menyusun pertanyaan untuk tiap tahap. Namun, guru perlu memastikan bahwa aktivitas rekayasa aman dan realistis.

4.4.9 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis Argumentasi Ilmiah

Argumentasi ilmiah penting dalam kimia karena siswa perlu belajar membuat klaim berdasarkan bukti dan alasan. LKPD berbasis argumentasi dapat menggunakan struktur klaim-bukti-alasan.

Contoh prompt:

"Buat LKPD berbasis argumentasi ilmiah tentang laju reaksi. Siswa diberi data waktu reaksi pada beberapa suhu. Mereka harus membuat klaim tentang pengaruh suhu, memilih bukti dari data, dan menjelaskan alasan menggunakan teori tumbukan. Sertakan tabel data, format klaim-bukti-alasan, rubrik argumentasi, dan refleksi."

Format jawaban siswa dapat dibuat seperti:

- Klaim: …
- Bukti: …
- Alasan ilmiah: …
- Kemungkinan sumber kesalahan: …

LKPD argumentasi dapat digunakan pada banyak topik kimia, seperti elektrolit, korosi, buffer, kesetimbangan, polimer, atau kualitas air. AI dapat membantu menyusun data dan rubrik, tetapi guru harus memeriksa validitas data.

4.4.10 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis Representasi Kimia

Salah satu kelemahan umum pembelajaran kimia adalah kurangnya latihan menghubungkan representasi. LKPD berbasis representasi kimia membantu siswa berpindah dari fenomena makroskopik ke partikel dan simbol.

Contoh prompt:

"Buat LKPD berbasis tiga level representasi tentang reaksi pengendapan untuk siswa SMA. Gunakan contoh pencampuran larutan $AgNO_3$ dan NaCl. LKPD harus memuat pengamatan makroskopik, gambar partikel yang harus dilengkapi siswa, persamaan molekul, persamaan ion lengkap, persamaan ion bersih, pertanyaan analisis, dan refleksi miskonsepsi."

Pada LKPD semacam ini, siswa dapat diminta:

1. Menuliskan apa yang diamati.
2. Mengidentifikasi ion-ion dalam larutan sebelum dicampur.
3. Menentukan ion yang membentuk endapan.
4. Menulis persamaan ion bersih.
5. Menjelaskan mengapa ion lain disebut ion pendamping.

AI dapat membantu menyusun urutan tugas, tetapi guru perlu memeriksa persamaan reaksi dan muatan ion.

4.4.11 AI untuk Menyusun LKPD Berbasis Literasi Sains

LKPD berbasis literasi sains mengarahkan siswa menggunakan konsep kimia untuk membaca informasi, menafsirkan data, mengevaluasi klaim, dan mengambil keputusan. AI dapat membantu menyusun teks pendek, data, klaim, dan pertanyaan kritis.

Contoh prompt:

"Buat LKPD literasi sains tentang klaim produk plastik biodegradable untuk siswa SMA. LKPD harus memuat teks pendek, data sederhana, konsep polimer, klaim yang harus dievaluasi, pertanyaan analisis, tugas argumentasi, dan refleksi. Hindari klaim bahwa semua bioplastik otomatis ramah lingkungan."

LKPD literasi sains dapat menggunakan pertanyaan:

1. Apa klaim utama dalam teks?
2. Data apa yang mendukung klaim?
3. Data apa yang belum tersedia?
4. Konsep kimia apa yang relevan?
5. Apakah klaim terlalu umum?
6. Apa kesimpulan yang lebih hati-hati?

AI dapat membantu membuat bahan awal, tetapi konteks ilmiah perlu diverifikasi.

4.4.12 AI untuk Menyusun LKPD Remedial

LKPD remedial bertujuan memperbaiki pemahaman tertentu. LKPD remedial harus singkat, fokus, dan menargetkan miskonsepsi. AI dapat membantu membuat LKPD remedial berdasarkan hasil asesmen.

Contoh prompt:

"Buat LKPD remedial tentang larutan elektrolit untuk siswa yang mengira semua zat yang larut dalam air menghantarkan listrik. LKPD harus memuat fenomena pembanding NaCl dan gula,

pertanyaan prediksi, deskripsi partikel, tabel perbandingan, latihan klasifikasi, umpan balik, dan refleksi."

Untuk kesetimbangan:

"Buat LKPD remedial untuk siswa yang mengira reaksi berhenti pada keadaan setimbang. LKPD harus memuat simulasi atau analogi terbatas, grafik laju reaksi, pertanyaan analisis, latihan benar-salah beralasan, dan exit ticket."

LKPD remedial harus menggunakan bahasa yang mendukung, tidak menyudutkan siswa. Tujuannya adalah penguatan, bukan hukuman.

4.4.13 AI untuk Menyusun LKPD Pengayaan

LKPD pengayaan diberikan kepada siswa yang sudah menguasai kompetensi dasar. LKPD pengayaan harus menantang melalui analisis, evaluasi, proyek, atau konteks baru.

Contoh prompt:

"Buat LKPD pengayaan tentang aplikasi larutan penyangga dalam sistem biologis dan produk farmasi untuk siswa SMA kelas XI. LKPD harus memuat bacaan singkat, konsep buffer, data perubahan pH sederhana, pertanyaan analisis, evaluasi klaim, dan refleksi. Hindari detail biokimia terlalu kompleks."

Untuk elektrokimia:

"Buat LKPD pengayaan tentang baterai dan daur ulang untuk siswa SMA kelas XII. LKPD harus menghubungkan konsep redoks, aliran elektron, migrasi ion, isu lingkungan, dan pertanyaan argumentatif. Sertakan rubrik."

LKPD pengayaan harus tetap sesuai jenjang. AI perlu diberi batas kedalaman.

4.4.14 AI untuk Menyusun Pertanyaan Analisis dalam LKPD

Pertanyaan analisis adalah inti LKPD. AI dapat membantu menyusun pertanyaan bertingkat dari mudah ke kompleks. Pertanyaan dapat mengikuti urutan:

1. Apa yang diamati?
2. Apa pola datanya?
3. Apa konsep yang menjelaskan pola?
4. Bagaimana hubungan dengan model partikel?
5. Bagaimana dinyatakan secara simbolik?
6. Apa kesimpulan berdasarkan data?
7. Apa keterbatasan atau sumber kesalahan?
8. Apa penerapannya?

Contoh prompt:

“Buat pertanyaan analisis bertingkat untuk LKPD laju reaksi. Pertanyaan harus dimulai dari observasi data, identifikasi pola, hubungan dengan teori tumbukan, pembahasan variabel kontrol, sumber kesalahan, dan kesimpulan berbasis bukti.”

Pertanyaan seperti ini membantu siswa membangun argumentasi ilmiah.

Pertanyaan yang lemah:

“Apa itu laju reaksi?”

Pertanyaan yang lebih kuat:

“Berdasarkan data waktu reaksi pada suhu 25°C dan 40°C, bagaimana pengaruh suhu terhadap laju reaksi? Data mana yang mendukung jawaban Anda, dan bagaimana teori tumbukan menjelaskannya?”

AI dapat membantu mengubah pertanyaan hafalan menjadi pertanyaan analitis.

4.4.15 AI untuk Menyusun Tabel Data dan Format Jawaban LKPD

Tabel data yang baik membantu siswa mencatat informasi secara sistematis. AI dapat membantu membuat tabel sesuai aktivitas. Guru perlu memastikan tabel tidak terlalu rumit.

Contoh prompt:

“Buat tabel data untuk LKPD praktikum pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Tabel harus memuat suhu, volume larutan, konsentrasi, waktu reaksi pengulangan 1–3, rata-rata waktu, dan catatan pengamatan.”

Untuk LKPD simulasi:

“Buat format tabel pengamatan simulasi kesetimbangan. Kolom harus memuat kondisi awal, perubahan yang dilakukan, perubahan konsentrasi reaktan, perubahan konsentrasi produk, dan penjelasan konsep.”

Untuk LKPD argumentasi:

“Buat format jawaban klaim-bukti-alasan untuk LKPD elektrolit. Sertakan kolom klaim, bukti dari data, alasan pada level partikel, dan kesimpulan.”

Format jawaban membantu siswa menyusun pemikiran secara runtut.

4.4.16 AI untuk Menyusun Rubrik LKPD

Rubrik LKPD membantu guru menilai kualitas pekerjaan siswa. Rubrik dapat menilai kelengkapan data, analisis, konsep, representasi, kesimpulan, refleksi, dan kerja sama. AI dapat membantu menyusun rubrik singkat.

Contoh prompt:

"Buat rubrik penilaian LKPD uji elektrolit skala 1–4. Aspek penilaian: prediksi, kelengkapan data, klasifikasi larutan, penjelasan ion, representasi partikel, kesimpulan berbasis data, refleksi, dan keselamatan kerja. Deskriptor harus jelas dan operasional."

Rubrik tidak harus terlalu panjang. Untuk LKPD kelas, rubrik ringkas lebih praktis. Namun, aspek akurasi konsep harus tetap ada.

4.4.17 AI untuk Menyusun Refleksi dalam LKPD

Refleksi membantu siswa menyadari perubahan pemahaman. Dalam kimia, refleksi dapat menargetkan miskonsepsi, data, dan proses berpikir.

Contoh prompt:

"Buat pertanyaan refleksi untuk LKPD larutan elektrolit. Pertanyaan harus membantu siswa menyadari perbedaan prediksi dan data, memahami peran ion, memperbaiki miskonsepsi tentang elektron dalam larutan, dan menuliskan konsep yang masih membingungkan."

Contoh refleksi:

1. Prediksi saya yang berubah setelah pengamatan adalah …
2. Bukti yang membuat saya mengubah pemahaman adalah …
3. Sekarang saya memahami bahwa larutan menghantarkan listrik karena …
4. Miskonsepsi yang perlu saya hindari adalah …
5. Pertanyaan yang masih saya miliki adalah …

Refleksi seperti ini membantu pembelajaran bermakna.

4.4.18 Validasi LKPD Berbantuan AI

LKPD yang dibuat dengan AI harus divalidasi sebelum digunakan. Validasi mencakup akurasi konsep, kesesuaian tujuan, kejelasan instruksi, keterlaksanaan aktivitas, keselamatan, representasi kimia, asesmen, dan bahasa.

Daftar cek validasi LKPD:

1. Apakah tujuan pembelajaran jelas dan terukur?
2. Apakah aktivitas sesuai dengan tujuan?

3. Apakah instruksi mudah dipahami siswa?
4. Apakah konsep kimia benar?
5. Apakah representasi makro-submikro-simbolik terhubung?
6. Apakah pertanyaan analisis menuntut penalaran?
7. Apakah tabel data sesuai dengan kegiatan?
8. Apakah K3 jelas jika ada praktikum?
9. Apakah kesimpulan harus berbasis data?
10. Apakah refleksi membantu siswa menyadari pemahaman?
11. Apakah rubrik sesuai tugas?
12. Apakah durasi realistis?

Prompt validasi:

"Tinjau LKPD berikut dari aspek tujuan, aktivitas, akurasi konsep kimia, keterhubungan representasi, pertanyaan analisis, K3, tabel data, rubrik, refleksi, bahasa, dan kelayakan durasi. Berikan saran revisi konkret."

AI dapat membantu meninjau, tetapi guru tetap harus memvalidasi akhir.

4.4.19 Tantangan Penyusunan LKPD dengan AI

Tantangan pertama adalah LKPD yang dihasilkan AI sering terlalu umum. AI mungkin membuat lembar kerja berisi definisi dan soal, bukan aktivitas. Tantangan kedua adalah instruksi terlalu panjang dan kurang praktis. LKPD harus mudah digunakan siswa. Tantangan ketiga adalah potensi kesalahan konsep. Tantangan keempat adalah prosedur praktikum yang kurang aman. Tantangan kelima adalah pertanyaan analisis yang masih bersifat hafalan.

Tantangan keenam adalah LKPD tidak sesuai waktu. AI dapat membuat aktivitas yang terlalu banyak untuk satu pertemuan. Tantangan ketujuh adalah kurangnya konteks kelas. AI tidak mengetahui alat yang tersedia, jumlah siswa, atau budaya belajar. Tantangan kedelapan adalah rubrik terlalu rumit. Tantangan kesembilan adalah tidak adanya ruang refleksi. Tantangan kesepuluh adalah tidak adanya diferensiasi untuk siswa yang membutuhkan remedial atau pengayaan.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, guru perlu memberi prompt rinci, membatasi durasi, menyebut alat-bahan yang tersedia, meminta K3, menargetkan miskonsepsi, meminta pertanyaan analisis berbasis data, dan melakukan revisi.

4.4.20 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu memiliki kemampuan menyusun LKPD berbantuan AI secara kritis. AI dapat mempercepat proses desain, tetapi LKPD yang baik tetap memerlukan pemahaman pedagogis dan kimia. Guru harus mampu menentukan tujuan, memilih model aktivitas, mengantisipasi miskonsepsi, memvalidasi prosedur, dan menyesuaikan dengan kelas.

Calon guru kimia perlu dilatih membuat LKPD dengan AI melalui proses dokumentasi. Mereka tidak cukup mengumpulkan LKPD final. Mereka perlu menunjukkan prompt, output AI, evaluasi, revisi, validasi konsep, validasi keselamatan, dan refleksi. Dengan demikian, penggunaan AI menjadi proses belajar profesional.

Contoh tugas:

"Gunakan AI untuk membantu membuat satu LKPD kimia berbasis inkuiri, praktikum, simulasi, atau problem-based learning. LKPD harus memuat tujuan, fenomena, aktivitas siswa, data, analisis, kesimpulan, refleksi, rubrik, dan K3 jika relevan. Lampirkan prompt, output AI, revisi, validasi konsep, dan refleksi."

Dengan tugas semacam ini, calon guru belajar menggunakan AI sebagai mitra desain, bukan pengganti keahlian.

Dengan demikian, AI dapat membantu penyusunan LKPD dan lembar aktivitas peserta didik secara efektif jika digunakan dengan prompt yang jelas dan validasi yang ketat. LKPD kimia berbantuan AI harus mengaktifkan siswa melalui prediksi, observasi, analisis data, representasi partikel, argumentasi, kesimpulan berbasis bukti, dan refleksi. Jika berkaitan dengan praktikum, keselamatan harus menjadi prioritas utama. LKPD yang baik bukan hanya lembar berisi pertanyaan, tetapi alat pedagogis yang membimbing siswa membangun pemahaman kimia secara aktif, bermakna, dan bertanggung jawab.

4.5 AI untuk Membuat Infografik, Slide, dan Media Visual Kimia

Media visual memiliki peran sangat penting dalam pembelajaran kimia karena banyak konsep kimia tidak dapat diamati secara langsung. Atom, ion, molekul, orbital, ikatan, gaya antarmolekul, tumbukan partikel, kesetimbangan dinamis, dan perubahan energi merupakan konsep yang membutuhkan bantuan visual agar lebih mudah dipahami. Dalam konteks ini, infografik, slide, diagram, peta konsep visual, model partikel, grafik, animasi, dan ilustrasi konseptual dapat membantu siswa membangun representasi mental yang lebih kuat.

AI dapat membantu guru membuat rancangan infografik, slide, dan media visual kimia secara lebih cepat. Guru dapat meminta AI menyusun struktur slide, naskah visual, alur infografik, deskripsi gambar, ide ikon, skema warna, tata letak, teks ringkas, caption, pertanyaan reflektif, dan rubrik media. AI juga dapat membantu menyederhanakan materi panjang menjadi visual yang lebih komunikatif. Namun, media visual kimia berbantuan AI harus divalidasi secara ketat karena visual yang salah dapat menimbulkan miskonsepsi. Dalam kimia, gambar yang indah tetapi keliru secara konsep lebih berbahaya daripada teks yang kurang menarik tetapi benar.

Media visual kimia tidak boleh hanya dibuat untuk mempercantik pembelajaran. Visual harus memiliki fungsi pedagogis. Diagram partikel harus membantu siswa memahami struktur atau proses. Grafik harus membantu siswa membaca hubungan variabel. Infografik harus membantu siswa melihat hubungan konsep. Slide harus membantu alur berpikir, bukan menjadi naskah panjang yang dibaca guru. Oleh karena itu, penggunaan AI untuk media visual harus dikendalikan oleh tujuan pembelajaran, akurasi konsep, keterbacaan, dan relevansi representasi.

4.5.1 Hakikat Media Visual dalam Pembelajaran Kimia

Media visual dalam pembelajaran kimia berfungsi sebagai jembatan antara konsep abstrak dan pemahaman siswa. Kimia memiliki karakter unik karena menjelaskan fenomena yang terlihat melalui proses yang tidak terlihat. Misalnya, lampu menyala dalam uji elektrolit adalah fenomena makroskopik. Penjelasannya berada pada level submikroskopik, yaitu adanya ion-ion yang bergerak bebas dalam larutan. Persamaan disosiasi NaCl merupakan representasi simbolik. Media visual membantu menghubungkan ketiga level tersebut.

Visual kimia dapat berbentuk diagram partikel, model molekul, grafik, tabel, skema reaksi, diagram energi, peta konsep, infografik, atau slide. Setiap bentuk visual memiliki fungsi berbeda. Diagram partikel membantu memahami struktur dan proses pada level submikroskopik. Grafik membantu membaca hubungan data. Tabel membantu membandingkan konsep. Diagram energi membantu memahami perubahan energi dan energi aktivasi. Peta konsep membantu melihat hubungan antarkonsep. Infografik membantu menyajikan informasi kompleks secara ringkas. Slide membantu mengarahkan alur pembelajaran.

AI dapat membantu merancang visual, tetapi guru harus memahami bahwa visual kimia bukan sekadar ilustrasi dekoratif. Visual harus akurat secara ilmiah. Misalnya, jika membuat gambar larutan elektrolit, ion harus ditampilkan sebagai partikel bermuatan yang terpisah dan dikelilingi molekul air, bukan sebagai elektron bebas dalam larutan. Jika membuat diagram asam lemah, ionisasi tidak boleh digambarkan seolah-olah seluruh molekul berubah menjadi ion. Jika membuat visual kesetimbangan, sistem harus menunjukkan proses dinamis, bukan reaksi berhenti.

Prompt untuk media visual harus menyebut konsep yang ingin divisualisasikan, pesan utama, batasan visual, label penting, miskonsepsi yang harus dihindari, dan tingkat detail. Contoh:

“Buat rancangan infografik tentang larutan elektrolit untuk siswa SMA kelas X. Visual harus menampilkan hubungan antara nyala lampu, jumlah ion bebas, dan klasifikasi elektrolit kuat-lemah-nonelektrolit. Hindari visual yang menunjukkan elektron bebas bergerak dalam larutan. Sertakan teks ringkas, label, ikon, dan pertanyaan cek pemahaman.”

Prompt seperti ini membantu AI menghasilkan rancangan visual yang lebih aman secara konsep.

4.5.2 Prinsip Desain Visual Kimia Berbantuan AI

Prinsip pertama adalah **akurasi konsep**. Visual harus menggambarkan konsep kimia secara benar. Jika visual menggambarkan molekul, ion, ikatan, atau reaksi, guru harus memeriksa apakah struktur, muatan, arah panah, fase, dan simbolnya benar. Kesalahan visual dapat melekat kuat dalam ingatan siswa.

Prinsip kedua adalah **kesesuaian representasi**. Visual harus sesuai dengan level konsep yang dijelaskan. Jika tujuan menjelaskan fenomena makroskopik, visual dapat berupa foto atau ilustrasi

pengamatan. Jika tujuan menjelaskan partikel, visual harus menunjukkan model submikroskopik. Jika tujuan menjelaskan hubungan matematis, grafik atau tabel lebih tepat.

Prinsip ketiga adalah **kesederhanaan terarah**. Visual pembelajaran tidak boleh terlalu penuh. Infografik yang memuat terlalu banyak teks, warna, ikon, dan panah dapat membingungkan. Slide yang terlalu padat membuat siswa fokus membaca, bukan berpikir. AI perlu diminta membuat visual ringkas dan berfokus pada pesan utama.

Prinsip keempat adalah **koherensi teks dan gambar**. Teks dalam visual harus mendukung gambar. Label harus jelas. Panah harus menunjukkan hubungan yang benar. Warna atau simbol harus konsisten. Jika warna digunakan untuk membedakan ion positif dan negatif, penggunaannya harus konsisten dari awal sampai akhir.

Prinsip kelima adalah **menghindari dekorasi berlebihan**. Visual yang terlalu dekoratif dapat meningkatkan beban kognitif. Dalam pembelajaran kimia, elemen visual harus mendukung pemahaman. Hiasan yang tidak relevan sebaiknya dikurangi.

Prinsip keenam adalah **menyertakan batas model**. Banyak visual kimia merupakan model, bukan realitas literal. Misalnya, ukuran atom dalam diagram tidak selalu skala sebenarnya. Warna atom dalam model molekul biasanya konvensi, bukan warna nyata. Guru perlu menjelaskan batas model agar siswa tidak salah memahami.

Prinsip ketujuh adalah **keterbacaan**. Font, ukuran teks, kontras, tata letak, dan urutan visual harus mudah dibaca. Jika visual digunakan di kelas, teks harus terbaca dari jarak jauh. Jika digunakan dalam handout, detail harus cukup jelas.

4.5.3 AI untuk Membuat Rancangan Infografik Kimia

Infografik adalah media visual yang menggabungkan teks ringkas, ikon, diagram, tabel, dan alur informasi. Dalam pembelajaran kimia, infografik berguna untuk merangkum konsep, membandingkan istilah, menjelaskan proses, atau menyajikan hubungan sebab-akibat. AI dapat membantu membuat rancangan infografik sebelum guru atau desainer membuat visual final.

Prompt infografik harus menyebut topik, tujuan, audiens, ukuran, struktur, bagian-bagian visual, teks ringkas, dan miskonsepsi yang harus dihindari.

Contoh prompt:

“Buat rancangan infografik satu halaman tentang perbedaan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer untuk siswa SMA kelas XI. Infografik harus memuat judul, tujuan, tabel perbandingan, contoh HCl dan CH_3COOH, diagram sederhana ionisasi, kotak miskonsepsi, dan tiga pertanyaan cek pemahaman. Gunakan bahasa ringkas dan akurat.”

Infografik yang baik untuk topik ini harus menegaskan bahwa “kuat-lemah” berkaitan dengan derajat ionisasi, sedangkan “pekat-encer” berkaitan dengan konsentrasi. Visual dapat

menampilkan dua sumbu: kekuatan asam dan konsentrasi. Dengan demikian, siswa tidak menyamakan asam kuat dengan larutan pekat.

Contoh prompt lain:

“Buat rancangan infografik tentang faktor-faktor yang memengaruhi laju reaksi. Bagian visual harus mencakup suhu, konsentrasi, luas permukaan, dan katalis. Untuk setiap faktor, jelaskan hubungan dengan tumbukan efektif. Sertakan ikon yang relevan, contoh sederhana, dan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

AI dapat menghasilkan struktur dan teks infografik. Guru kemudian memvalidasi konsep dan menggunakan alat desain untuk membuat visual final.

4.5.4 AI untuk Membuat Slide Pembelajaran Kimia

Slide pembelajaran kimia harus membantu alur berpikir, bukan menjadi buku teks yang dipindahkan ke layar. AI dapat membantu membuat struktur slide, judul, poin utama, catatan guru, aktivitas siswa, pertanyaan diskusi, dan visual yang diperlukan. Namun, guru harus menghindari slide yang terlalu padat.

Prompt untuk slide harus menyebut jumlah slide, durasi, tujuan, gaya penyajian, dan aktivitas siswa.

Contoh prompt:

“Buat rancangan 12 slide pembelajaran kimia SMA kelas X tentang larutan elektrolit dan nonelektrolit untuk durasi 45 menit. Slide harus memuat fenomena pemantik, tujuan, data uji daya hantar, konsep ion, perbandingan elektrolit kuat-lemah-nonelektrolit, representasi partikel, miskonsepsi umum, latihan singkat, dan exit ticket. Untuk setiap slide, tuliskan judul, isi ringkas, visual yang disarankan, dan catatan guru.”

Slide yang baik dapat mengikuti alur:

1. Fenomena: mengapa lampu menyala?
2. Tujuan belajar.
3. Data uji larutan.
4. Prediksi siswa.
5. Konsep ion.
6. Elektrolit kuat.
7. Elektrolit lemah.
8. Nonelektrolit.
9. Representasi partikel.
10. Miskonsepsi.
11. Latihan.
12. Exit ticket.

AI dapat membantu menyusun narasi dan urutan. Guru kemudian membuat slide final dengan visual yang sudah diverifikasi.

4.5.5 AI untuk Membuat Diagram Partikel

Diagram partikel sangat penting untuk menjelaskan level submikroskopik. AI dapat membantu menyusun deskripsi diagram partikel, tetapi guru harus memeriksa akurasi. Jika menggunakan generator gambar, prompt harus sangat spesifik agar tidak menghasilkan visual yang salah.

Contoh prompt deskripsi:

"Buat deskripsi diagram partikel untuk membandingkan larutan NaCl, CH_3COOH, dan gula dalam air. Diagram harus menunjukkan bahwa NaCl terdisosiasi menjadi banyak ion Na^+ dan Cl^-, CH_3COOH hanya sebagian kecil terionisasi menjadi H_3O^+ dan CH_3COO^-, sedangkan gula tetap sebagai molekul netral. Sertakan label dan catatan miskonsepsi yang harus dihindari."

Diagram ini harus menghindari kesalahan seperti menggambarkan elektron bebas, menggambarkan asam lemah terionisasi total, atau menggambarkan gula sebagai ion.

Untuk perubahan wujud:

"Buat deskripsi diagram partikel perubahan air cair menjadi uap. Tunjukkan bahwa molekul H_2O tetap sebagai molekul H_2O, jarak antarmolekul meningkat, dan interaksi antarmolekul melemah. Jangan menggambarkan ikatan kovalen O–H terputus."

Prompt seperti ini menjaga akurasi visual.

4.5.6 AI untuk Membuat Diagram Energi

Diagram energi digunakan untuk menjelaskan reaksi eksoterm, endoterm, energi aktivasi, katalis, dan profil reaksi. AI dapat membantu membuat rancangan diagram dan keterangan. Guru harus memeriksa arah energi dan label.

Prompt:

"Buat rancangan diagram energi reaksi eksoterm dan endoterm untuk siswa SMA. Diagram harus memuat sumbu energi, koordinat reaksi, energi reaktan, energi produk, perubahan entalpi, dan energi aktivasi. Jelaskan perbedaan eksoterm dan endoterm secara visual. Sertakan catatan miskonsepsi."

Untuk katalis:

"Buat rancangan visual diagram energi untuk menjelaskan peran katalis. Tampilkan dua lintasan reaksi: tanpa katalis dan dengan katalis. Jelaskan bahwa katalis menurunkan energi aktivasi tetapi tidak mengubah energi reaktan, energi produk, atau ΔH. Hindari klaim bahwa katalis mengubah jumlah produk pada kesetimbangan."

Diagram energi membantu siswa memahami konsep yang sering abstrak. Namun, label harus jelas dan tidak membingungkan.

4.5.7 AI untuk Membuat Grafik dan Visualisasi Data Kimia

Grafik merupakan media penting dalam kimia. Grafik dapat menunjukkan hubungan suhu dengan laju reaksi, volume titran dengan pH, konsentrasi terhadap waktu, tekanan-volume gas, atau kelarutan terhadap suhu. AI dapat membantu menentukan jenis grafik dan pertanyaan analisis.

Prompt:

"Buat rancangan grafik pembelajaran tentang hubungan suhu dan laju reaksi. Gunakan data simulatif sederhana yang realistis. Jelaskan jenis grafik yang tepat, sumbu x, sumbu y, satuan, pola yang diharapkan, pertanyaan analisis, dan kesimpulan konsep."

Untuk titrasi:

"Buat rancangan visual grafik titrasi asam kuat-basa kuat dan asam lemah-basa kuat untuk siswa SMA. Jelaskan perbedaan bentuk kurva, titik ekuivalen, dan alasan pH titik ekuivalen berbeda. Sertakan pertanyaan pembanding."

Grafik harus disertai pertanyaan. Tanpa pertanyaan, siswa mungkin hanya melihat garis tanpa memahami makna. AI dapat membantu membuat pertanyaan interpretasi:

1. Apa variabel pada sumbu x dan y?
2. Bagaimana pola grafik?
3. Bagian mana yang menunjukkan perubahan paling cepat?
4. Apa konsep kimia yang menjelaskan pola tersebut?
5. Apa kesimpulan berdasarkan grafik?

4.5.8 AI untuk Membuat Tabel Perbandingan Visual

Tabel perbandingan sangat berguna dalam kimia karena banyak konsep memiliki perbedaan halus. AI dapat membantu membuat tabel yang ringkas dan akurat.

Contoh prompt:

"Buat tabel perbandingan visual antara ikatan ion, ikatan kovalen, dan ikatan logam untuk siswa SMA. Kolom harus mencakup partikel penyusun, cara terbentuk, contoh zat, sifat umum, daya hantar listrik, titik leleh, dan miskonsepsi umum."

Untuk elektrokimia:

"Buat tabel perbandingan antara sel volta dan sel elektrolisis. Kolom mencakup spontanitas reaksi, perubahan energi, anode, katode, tanda elektroda, arah elektron, contoh, dan kesalahan umum."

Untuk asam-basa:

“Buat tabel perbandingan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer. Pastikan kekuatan asam dibedakan dari konsentrasi.”

Tabel visual membantu siswa melihat perbedaan konsep secara cepat. Guru perlu memeriksa isi tabel agar tidak terlalu menyederhanakan.

4.5.9 AI untuk Membuat Peta Konsep Visual

Peta konsep membantu siswa melihat hubungan antarkonsep. AI dapat membantu membuat struktur peta konsep dalam bentuk teks yang kemudian dapat divisualisasikan.

Prompt:

“Buat rancangan peta konsep visual tentang kesetimbangan kimia. Peta harus menghubungkan reaksi bolak-balik, laju reaksi maju, laju reaksi balik, kesetimbangan dinamis, konsentrasi konstan, Kc, Qc, gangguan, prinsip Le Chatelier, dan katalis. Gunakan kata penghubung pada setiap relasi.”

Hasilnya dapat berupa relasi:

- Reaksi bolak-balik dapat mencapai kesetimbangan dinamis.
- Kesetimbangan dinamis terjadi ketika laju maju sama dengan laju balik.
- Konsentrasi reaktan dan produk menjadi konstan.
- Kc menggambarkan komposisi sistem pada keadaan setimbang.
- Qc dibandingkan dengan Kc untuk memprediksi arah perubahan.
- Katalis mempercepat tercapainya kesetimbangan tetapi tidak mengubah Kc.

Peta konsep yang baik bukan sekadar kumpulan kata, tetapi jaringan hubungan bermakna.

4.5.10 AI untuk Membuat Media Visual Berbasis Miskonsepsi

Media visual dapat digunakan untuk meluruskan miskonsepsi. AI dapat membantu merancang visual yang membandingkan konsep salah dan konsep benar. Bentuk ini sangat efektif karena siswa dapat melihat perbedaan secara eksplisit.

Contoh prompt:

“Buat rancangan media visual ‘Konsep Salah vs Konsep Benar’ tentang kesetimbangan kimia. Konsep salah: reaksi berhenti pada setimbang. Konsep benar: reaksi maju dan balik tetap berlangsung dengan laju sama. Visual harus memuat dua panel, penjelasan singkat, diagram partikel atau grafik laju, dan pertanyaan refleksi.”

Untuk elektrolit:

“Buat rancangan visual miskonsepsi tentang larutan elektrolit. Panel kiri menunjukkan kesalahan: elektron bebas bergerak dalam larutan. Panel kanan menunjukkan konsep benar: ion bergerak dalam larutan, sedangkan elektron bergerak melalui kawat luar. Sertakan label dan catatan guru.”

Untuk perubahan wujud:

“Buat visual klarifikasi bahwa air mendidih tidak memutus ikatan kovalen O–H. Tampilkan molekul H_2O tetap utuh, tetapi jarak antarmolekul meningkat. Sertakan teks ringkas.”

Media semacam ini membantu siswa membedakan model yang benar dan salah.

4.5.11 AI untuk Membuat Storyboard Animasi Kimia

Animasi dapat membantu menjelaskan proses dinamis, seperti tumbukan partikel, ionisasi, disosiasi, kesetimbangan, difusi, atau reaksi redoks. AI dapat membantu membuat storyboard animasi, yaitu urutan adegan visual sebelum animasi dibuat.

Prompt:

“Buat storyboard animasi pendek 60 detik tentang disosiasi NaCl dalam air untuk siswa SMA. Storyboard harus memuat adegan molekul air mendekati kristal NaCl, ion Na^+ dan Cl^- terpisah, molekul air mengelilingi ion, ion bergerak bebas dalam larutan, dan hubungan dengan daya hantar listrik. Sertakan narasi singkat dan miskonsepsi yang harus dihindari.”

Untuk kesetimbangan:

“Buat storyboard animasi tentang kesetimbangan dinamis. Tampilkan partikel reaktan berubah menjadi produk dan produk kembali menjadi reaktan. Pada keadaan setimbang, jumlah perubahan maju dan balik per waktu sama. Hindari visual yang menunjukkan reaksi berhenti.”

Storyboard membantu guru atau desainer membuat animasi yang benar secara konsep. Jika animasi dibuat AI, guru tetap harus memvalidasi setiap adegan.

4.5.12 AI untuk Membuat Naskah Slide Interaktif

Slide interaktif bukan hanya berisi materi, tetapi juga pertanyaan, polling, diskusi, dan tugas singkat. AI dapat membantu membuat naskah slide interaktif.

Prompt:

“Buat naskah slide interaktif tentang asam kuat dan asam lemah untuk siswa SMA kelas XI. Setiap 2–3 slide harus ada pertanyaan prediksi, kuis singkat, atau diskusi pasangan. Sertakan judul slide, isi ringkas, visual yang disarankan, pertanyaan interaktif, dan catatan guru.”

Slide interaktif dapat memuat:

- Prediksi: “Apakah asam kuat selalu memiliki pH lebih rendah daripada asam lemah?”
- Diskusi: “Bandingkan HCl 0,001 M dan CH_3COOH 1 M.”
- Kuis: “Pilih pernyataan yang benar dan jelaskan alasannya.”
- Refleksi: “Apa perbedaan kekuatan asam dan konsentrasi?”

AI dapat membantu mengatur ritme slide agar pembelajaran tidak pasif.

4.5.13 AI untuk Mendesain Media Visual Remedial

Media visual remedial ditujukan untuk memperbaiki kesulitan tertentu. AI dapat membantu membuat visual yang lebih sederhana dan fokus.

Contoh prompt:

“Buat rancangan media visual remedial untuk siswa yang salah memahami perbedaan koefisien dan indeks dalam rumus kimia. Visual harus membandingkan $2H_2O$ dan H_2O_2, menjelaskan makna angka di depan rumus dan angka kecil di bawah, serta memberi latihan singkat.”

Untuk mol:

“Buat visual remedial tentang konsep mol sebagai satuan jumlah zat. Gunakan analogi lusin secara terbatas, jelaskan batas analogi, hubungkan mol dengan jumlah partikel dan massa molar, serta sertakan contoh sederhana.”

Visual remedial harus mengurangi beban kognitif dan langsung menargetkan kesalahan.

4.5.14 AI untuk Mendesain Media Visual Pengayaan

Media visual pengayaan dapat memperluas wawasan siswa yang sudah menguasai konsep dasar. AI dapat membantu membuat infografik atau slide tentang aplikasi kimia dalam teknologi, lingkungan, pangan, kesehatan, atau industri.

Contoh prompt:

“Buat rancangan infografik pengayaan tentang baterai lithium-ion untuk siswa SMA. Visual harus menjelaskan secara konseptual anode, katode, aliran elektron, perpindahan ion, pengisian-pengosongan, dan isu daur ulang. Hindari detail teknis terlalu kompleks. Sertakan pertanyaan analisis.”

Untuk polimer:

“Buat rancangan infografik pengayaan tentang plastik biodegradable. Visual harus menjelaskan struktur polimer secara sederhana, kondisi biodegradasi, keterbatasan klaim ramah lingkungan, dan pertanyaan evaluasi klaim.”

Media pengayaan harus tetap sesuai jenjang dan berbasis bukti.

4.5.15 AI untuk Membuat Prompt Gambar Kimia yang Aman dan Akurat

Jika guru menggunakan alat AI generatif gambar, prompt harus sangat jelas. Namun, gambar kimia yang dihasilkan AI sering berisiko salah, terutama struktur molekul, ikatan, muatan, atau teks pada gambar. Karena itu, untuk media kimia yang membutuhkan akurasi tinggi, sebaiknya guru menggunakan gambar dari sumber ilmiah, membuat diagram sendiri, atau menggunakan perangkat kimia khusus. AI generatif lebih aman digunakan untuk ilustrasi konseptual umum, bukan struktur kimia presisi.

Prompt gambar harus memuat:

1. Konsep yang divisualisasikan.
2. Partikel atau objek yang harus muncul.
3. Label yang diperlukan.
4. Hal yang harus dihindari.
5. Gaya visual.
6. Tingkat detail.
7. Audiens.
8. Catatan bahwa gambar bersifat ilustratif.

Contoh prompt gambar konseptual:

“Buat ilustrasi edukatif untuk siswa SMA tentang larutan NaCl dalam air. Tampilkan ion Na^+ dan Cl^- terpisah, dikelilingi molekul air, dengan label jelas. Jangan tampilkan elektron bebas dalam larutan. Gaya infografik sederhana, bersih, dan mudah dipahami.”

Untuk kesetimbangan:

“Buat ilustrasi konseptual kesetimbangan dinamis. Tampilkan dua arah reaksi dengan panah maju dan balik, partikel reaktan dan produk yang saling berubah, serta keterangan ‘laju maju = laju balik’. Jangan tampilkan reaksi berhenti.”

Setelah gambar dibuat, guru harus memeriksa akurasi sebelum digunakan.

4.5.16 AI untuk Menyusun Rubrik Media Visual Kimia

Media visual perlu dinilai dengan rubrik. AI dapat membantu membuat rubrik untuk infografik, slide, poster, atau animasi. Rubrik harus menilai akurasi konsep, kualitas representasi, keterbacaan, desain, sumber, dan etika AI.

Contoh prompt:

“Buat rubrik penilaian infografik kimia untuk siswa SMA. Aspek: akurasi konsep, keterhubungan makro-submikro-simbolik, kejelasan pesan utama, keterbacaan, kualitas visual, penggunaan sumber, pencegahan miskonsepsi, dan etika penggunaan AI. Gunakan skala 1–4 dengan deskriptor operasional.”

Untuk slide:

“Buat rubrik penilaian slide presentasi kimia. Aspek: akurasi konsep, struktur alur, kualitas visual, keseimbangan teks-gambar, penggunaan data, kemampuan menjelaskan, dan jawaban terhadap pertanyaan.”

Rubrik membantu siswa memahami bahwa media visual kimia tidak hanya dinilai dari estetika, tetapi juga dari kebenaran dan fungsi pembelajarannya.

4.5.17 Validasi Media Visual Kimia Berbantuan AI

Validasi media visual sangat penting. Guru perlu memeriksa apakah visual benar secara kimia, sesuai tujuan, mudah dibaca, dan tidak menimbulkan miskonsepsi. Visual yang salah dapat lebih sulit diperbaiki karena siswa sering mengingat gambar lebih kuat daripada teks.

Daftar cek validasi media visual:

1. Apakah konsep kimia benar?
2. Apakah simbol, rumus, muatan, dan persamaan benar?
3. Apakah visual sesuai tujuan pembelajaran?
4. Apakah hubungan makro-submikro-simbolik jelas?
5. Apakah label mudah dibaca?
6. Apakah warna dan ikon konsisten?
7. Apakah visual tidak terlalu padat?
8. Apakah ada elemen dekoratif yang mengganggu?
9. Apakah miskonsepsi penting dihindari?
10. Apakah sumber gambar/data jelas?
11. Apakah batas model dijelaskan?
12. Apakah sesuai jenjang siswa?

Prompt validasi:

“Tinjau rancangan media visual kimia berikut dari aspek akurasi konsep, representasi kimia, potensi miskonsepsi, keterbacaan, beban kognitif, kesesuaian jenjang, dan fungsi pembelajaran. Berikan revisi konkret.”

AI dapat membantu meninjau, tetapi validasi akhir harus dilakukan guru atau ahli kimia/pendidikan kimia.

4.5.18 Tantangan Penggunaan AI untuk Media Visual Kimia

Tantangan pertama adalah **kesalahan visual konseptual**. AI generatif dapat membuat gambar molekul, ikatan, atau struktur yang tidak tepat. Tantangan kedua adalah **teks dalam gambar sering salah**. Banyak alat generatif menghasilkan teks tidak rapi atau tidak akurat. Tantangan ketiga adalah **visual terlalu dekoratif**. Gambar mungkin menarik tetapi tidak mendukung konsep.

Tantangan keempat adalah **representasi tidak sesuai skala**. Model partikel memang tidak harus selalu berskala, tetapi siswa perlu diberi penjelasan.

Tantangan kelima adalah **miskonsepsi visual**. Misalnya, menggambarkan atom sebagai bola padat yang terlalu literal, elektron mengelilingi inti seperti planet tanpa konteks model, atau larutan elektrolit sebagai elektron bebas. Tantangan keenam adalah **hak cipta dan atribusi**. Jika menggunakan gambar dari sumber luar atau AI, guru perlu memperhatikan aturan penggunaan. Tantangan ketujuh adalah **aksesibilitas**. Visual harus terbaca oleh siswa dengan keterbatasan penglihatan warna atau ukuran layar kecil. Gunakan label yang jelas, bukan hanya warna.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, guru perlu memvalidasi, menyederhanakan, memberi label, menjelaskan batas model, dan menggunakan sumber visual yang tepercaya untuk struktur kimia presisi.

4.5.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu memiliki literasi visual. Dalam era AI, kemampuan membuat visual menjadi lebih mudah, tetapi kemampuan menilai visual menjadi semakin penting. Guru harus mampu membedakan visual yang menarik dari visual yang benar dan pedagogis. Media visual kimia harus mendukung pemahaman, bukan sekadar memperindah pembelajaran.

Calon guru kimia perlu dilatih membuat rancangan infografik, slide, diagram partikel, dan media visual berbantuan AI. Mereka juga harus dilatih memvalidasi visual. Tugas yang baik bukan hanya meminta mahasiswa membuat media visual, tetapi juga meminta mereka menjelaskan tujuan visual, konsep yang divisualisasikan, miskonsepsi yang dihindari, sumber, validasi, dan revisi.

Contoh tugas:

“Gunakan AI untuk membantu merancang satu infografik atau slide pembelajaran kimia. Produk harus memuat tujuan pembelajaran, konsep inti, representasi visual, pertanyaan cek pemahaman, dan catatan miskonsepsi. Lampirkan prompt, rancangan awal, revisi, validasi konsep, dan refleksi.”

Dengan tugas seperti ini, mahasiswa belajar bahwa media visual kimia harus akurat, komunikatif, dan bertanggung jawab.

Dengan demikian, AI dapat membantu membuat infografik, slide, dan media visual kimia secara lebih cepat dan variatif. AI dapat membantu menyusun struktur visual, teks ringkas, diagram konseptual, storyboard animasi, tabel perbandingan, grafik, dan rubrik. Namun, visual kimia berbantuan AI harus selalu divalidasi dari sisi akurasi konsep, representasi kimia, keterbacaan, dan potensi miskonsepsi. Media visual yang baik bukan hanya menarik, tetapi membantu siswa melihat hubungan antara fenomena, partikel, simbol, data, dan konsep secara lebih jelas.

4.6 AI untuk Menyusun Peta Konsep dan Glosarium Kimia

Peta konsep dan glosarium merupakan dua perangkat penting dalam bahan ajar kimia karena keduanya membantu peserta didik memahami struktur pengetahuan dan makna istilah. Kimia memiliki banyak konsep yang saling terhubung, seperti atom, molekul, ion, ikatan, reaksi, energi, kesetimbangan, asam-basa, redoks, elektrokimia, polimer, dan lingkungan. Jika konsep-konsep tersebut dipelajari secara terpisah, siswa cenderung menghafal definisi tanpa memahami hubungan antarkonsep. Peta konsep membantu siswa melihat relasi tersebut secara lebih sistematis. Sementara itu, glosarium membantu siswa memahami istilah kimia secara tepat, ringkas, dan konsisten.

AI dapat membantu guru menyusun peta konsep dan glosarium kimia secara lebih efisien. Guru dapat meminta AI membuat daftar konsep kunci, hubungan antarkonsep, hierarki konsep, kata penghubung, contoh, non-contoh, istilah penting, definisi, miskonsepsi, dan catatan penggunaan istilah. Namun, peta konsep dan glosarium yang dibuat AI tetap harus divalidasi. Dalam kimia, kesalahan kecil dalam definisi atau relasi konsep dapat berdampak besar. Misalnya, jika glosarium menyamakan “asam kuat” dengan “asam pekat”, siswa akan membawa miskonsepsi ke topik pH, titrasi, dan larutan penyangga. Jika peta konsep menyatakan bahwa “katalis menggeser kesetimbangan”, maka bahan ajar justru memperkuat kesalahan konsep.

Peta konsep dan glosarium berbantuan AI harus dirancang bukan hanya sebagai pelengkap buku, tetapi sebagai alat belajar. Peta konsep dapat digunakan sebelum pembelajaran untuk mengaktifkan pengetahuan awal, selama pembelajaran untuk memandu diskusi, dan setelah pembelajaran untuk refleksi atau asesmen. Glosarium dapat digunakan untuk memperjelas istilah baru, membedakan istilah yang mirip, dan membantu siswa menggunakan bahasa kimia secara tepat. Dalam pembelajaran kimia, penguasaan istilah bukan sekadar hafalan kata, melainkan bagian dari penguasaan konsep.

4.6.1 Hakikat Peta Konsep dalam Pembelajaran Kimia

Peta konsep adalah representasi visual atau tekstual yang menunjukkan hubungan antarkonsep. Peta konsep biasanya terdiri atas konsep utama, konsep turunan, garis penghubung, dan kata penghubung yang menjelaskan relasi. Dalam pembelajaran kimia, peta konsep sangat bermanfaat karena konsep kimia bersifat hierarkis dan saling berkaitan. Misalnya, konsep “larutan” berhubungan dengan “zat terlarut”, “pelarut”, “konsentrasi”, “elektrolit”, “nonelektrolit”, “ion”, “molekul”, “asam-basa”, dan “kesetimbangan”.

Peta konsep berbeda dari mind map. Mind map sering berisi cabang ide yang bersifat asosiatif, sedangkan peta konsep menekankan hubungan proposisional yang jelas. Dalam peta konsep, hubungan tidak cukup hanya berupa garis; harus ada kata penghubung seperti “terdiri atas”, “menghasilkan”, “dipengaruhi oleh”, “dinyatakan dengan”, “menyebabkan”, atau “berhubungan dengan”. Misalnya, “elektrolit kuat menghasilkan banyak ion bebas dalam larutan” adalah hubungan konseptual yang jelas. Jika hanya menulis “elektrolit kuat — ion”, hubungan tersebut belum cukup informatif.

Dalam kimia, peta konsep dapat membantu siswa mengorganisasi pengetahuan. Pada materi kesetimbangan, siswa dapat melihat hubungan antara reaksi bolak-balik, laju reaksi maju, laju reaksi balik, kesetimbangan dinamis, konsentrasi konstan, tetapan kesetimbangan, Q, K, gangguan, dan prinsip Le Chatelier. Pada materi elektrokimia, siswa dapat melihat hubungan antara redoks, oksidasi, reduksi, anode, katode, elektron, ion, jembatan garam, potensial sel, dan energi listrik.

AI dapat membantu membuat peta konsep awal. Namun, guru harus mengecek apakah hubungan antarkonsep benar. Peta konsep yang hanya berupa daftar istilah tidak cukup. Prompt harus meminta relasi eksplisit.

Contoh prompt:

“Buat peta konsep tekstual tentang larutan elektrolit untuk siswa SMA kelas X. Peta konsep harus memuat konsep utama, konsep turunan, dan hubungan antarkonsep dengan kata penghubung yang jelas. Sertakan elektrolit kuat, elektrolit lemah, nonelektrolit, ion, molekul, daya hantar listrik, disosiasi, ionisasi, dan data uji nyala lampu.”

Prompt ini membantu AI menghasilkan peta konsep yang bermakna, bukan sekadar daftar kata.

4.6.2 Fungsi Peta Konsep dalam Bahan Ajar Kimia

Peta konsep memiliki beberapa fungsi dalam bahan ajar kimia. Pertama, peta konsep berfungsi sebagai **organisator awal**. Sebelum mempelajari materi, siswa dapat melihat gambaran umum hubungan konsep. Ini membantu mereka memahami arah pembelajaran. Misalnya, sebelum mempelajari stoikiometri, peta konsep dapat menunjukkan hubungan antara persamaan reaksi, koefisien, mol, massa molar, volume gas, dan perbandingan mol.

Kedua, peta konsep berfungsi sebagai **alat integrasi pengetahuan**. Dalam kimia, siswa sering mempelajari konsep secara terpisah. Peta konsep membantu menghubungkan konsep yang terpisah menjadi jaringan yang bermakna. Misalnya, konsep ion tidak hanya relevan pada elektrolit, tetapi juga asam-basa, redoks, elektrokimia, dan kelarutan.

Ketiga, peta konsep berfungsi sebagai **alat diagnostik**. Guru dapat meminta siswa membuat peta konsep untuk melihat pemahaman mereka. Jika siswa menghubungkan “asam kuat” dengan “konsentrasi tinggi”, guru dapat mendeteksi miskonsepsi. Jika siswa tidak menghubungkan “kesetimbangan” dengan “reaksi maju-balik”, berarti konsep kesetimbangan dinamis belum kuat.

Keempat, peta konsep berfungsi sebagai **alat refleksi**. Setelah pembelajaran, siswa dapat memperbaiki peta konsep awal. Perubahan peta konsep menunjukkan perkembangan pemahaman. Ini sangat berguna dalam pembelajaran bermakna.

Kelima, peta konsep berfungsi sebagai **alat komunikasi**. Siswa dapat menjelaskan materi menggunakan peta konsep. Dalam diskusi kelompok, peta konsep membantu siswa menyampaikan hubungan antaride secara lebih terstruktur.

AI dapat membantu guru membuat peta konsep guru, peta konsep kosong untuk siswa lengkapi, peta konsep salah untuk diperbaiki siswa, atau rubrik penilaian peta konsep. Dengan demikian, peta konsep tidak hanya menjadi hiasan bahan ajar, tetapi bagian dari strategi pembelajaran.

4.6.3 AI untuk Menyusun Peta Konsep Guru

Peta konsep guru adalah peta konsep yang disusun sebagai rujukan ideal. Guru dapat menggunakannya untuk merancang bahan ajar, menjelaskan alur materi, atau memeriksa pemahaman siswa. AI dapat membantu membuat peta konsep guru dengan cepat.

Prompt:

"Buat peta konsep guru tentang kesetimbangan kimia untuk siswa SMA kelas XI. Peta konsep harus menunjukkan hubungan hierarkis dan proposisional antara reaksi bolak-balik, sistem tertutup, kesetimbangan dinamis, laju reaksi maju, laju reaksi balik, konsentrasi konstan, Kc, Qc, gangguan konsentrasi, suhu, tekanan, katalis, dan prinsip Le Chatelier. Gunakan format daftar bertingkat dengan kata penghubung."

Peta konsep guru dapat berbentuk:

- Reaksi bolak-balik dapat mencapai kesetimbangan dalam sistem tertutup.
- Kesetimbangan kimia bersifat dinamis karena reaksi maju dan reaksi balik tetap berlangsung.
- Kesetimbangan tercapai ketika laju reaksi maju sama dengan laju reaksi balik.
- Pada keadaan setimbang, konsentrasi reaktan dan produk tampak konstan.
- Kc menyatakan perbandingan konsentrasi zat pada keadaan setimbang.
- Qc dibandingkan dengan Kc untuk memprediksi arah perubahan menuju setimbang.
- Gangguan pada sistem dapat menyebabkan pergeseran kesetimbangan.
- Katalis mempercepat tercapainya kesetimbangan tetapi tidak mengubah nilai Kc.

AI dapat membantu membuat versi awal. Guru harus memeriksa hubungan konsep, terutama pada bagian katalis, Qc-Kc, dan perubahan suhu.

4.6.4 AI untuk Menyusun Peta Konsep Siswa

Peta konsep siswa dapat dibuat dalam bentuk kosong, setengah jadi, atau tugas terbuka. Tujuannya agar siswa aktif menghubungkan konsep. AI dapat membantu membuat format peta konsep yang harus dilengkapi siswa.

Contoh prompt:

"Buat lembar aktivitas peta konsep tentang larutan elektrolit untuk siswa SMA kelas X. Berikan daftar konsep: larutan, elektrolit kuat, elektrolit lemah, nonelektrolit, ion, molekul, disosiasi, ionisasi, daya hantar listrik, nyala lampu terang, nyala lampu redup, lampu tidak menyala. Siswa diminta menyusun hubungan konsep dengan kata penghubung. Sertakan instruksi, contoh satu hubungan, dan rubrik penilaian."

Lembar aktivitas ini membuat siswa berpikir. Mereka tidak hanya melihat peta konsep jadi, tetapi menyusun hubungan. Guru dapat menilai apakah siswa memahami hubungan antara ion dan daya hantar.

AI juga dapat membuat peta konsep rumpang:

“Buat peta konsep rumpang tentang asam-basa untuk siswa SMA. Beberapa kata penghubung dan konsep dikosongkan agar siswa melengkapinya. Sertakan kunci guru.”

Peta konsep rumpang cocok untuk siswa yang belum terbiasa membuat peta konsep sendiri.

4.6.5 AI untuk Membuat Peta Konsep Berbasis Miskonsepsi

Peta konsep dapat digunakan untuk memperbaiki miskonsepsi. Guru dapat meminta AI membuat peta konsep yang menampilkan hubungan salah dan benar. Siswa diminta mengidentifikasi dan memperbaiki hubungan yang salah.

Prompt:

“Buat aktivitas peta konsep berbasis miskonsepsi tentang asam-basa. Masukkan beberapa hubungan salah, seperti ‘asam kuat berarti konsentrasi tinggi’ dan ‘asam lemah berarti pH selalu tinggi’. Siswa diminta menemukan hubungan yang salah, menjelaskan kesalahannya, dan memperbaiki hubungan tersebut. Sertakan kunci dan pembahasan.”

Aktivitas ini melatih siswa berpikir kritis. Mereka tidak hanya menerima peta konsep, tetapi mengevaluasi hubungan.

Untuk kesetimbangan:

“Buat peta konsep salah tentang kesetimbangan kimia yang memuat tiga miskonsepsi: reaksi berhenti saat setimbang, jumlah reaktan dan produk harus sama, dan katalis mengubah K. Siswa diminta memperbaiki peta konsep. Sertakan kunci konsep benar.”

Peta konsep berbasis miskonsepsi sangat efektif untuk asesmen formatif.

4.6.6 AI untuk Menyusun Peta Konsep Berbasis Tiga Level Representasi

Dalam kimia, peta konsep sebaiknya menghubungkan level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. AI dapat membantu menyusun peta konsep yang eksplisit menghubungkan tiga level tersebut.

Prompt:

“Buat peta konsep tentang larutan elektrolit yang menghubungkan level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Level makroskopik mencakup nyala lampu dan gelembung. Level submikroskopik mencakup ion bebas dan molekul netral. Level simbolik mencakup persamaan

disosiasi NaCl dan ionisasi CH_3COOH. Tunjukkan hubungan antarkonsep dengan kata penghubung."

Peta konsep ini dapat menunjukkan:

- Nyala lampu terang menunjukkan daya hantar tinggi.
- Daya hantar tinggi disebabkan banyak ion bebas.
- Banyak ion bebas terjadi pada elektrolit kuat.
- NaCl(aq) direpresentasikan secara simbolik sebagai $Na^+(aq)$ dan $Cl^-(aq)$.
- Lampu tidak menyala menunjukkan tidak ada ion bebas yang cukup.
- Gula larut sebagai molekul netral.

Peta konsep representasional membantu siswa memahami bahwa simbol kimia bukan sekadar tulisan, tetapi berhubungan dengan fenomena dan partikel.

4.6.7 AI untuk Menyusun Glosarium Kimia

Glosarium adalah daftar istilah penting beserta definisi ringkas. Dalam pembelajaran kimia, glosarium sangat penting karena istilah kimia sering memiliki makna khusus. Kata "kuat" dalam asam kuat tidak sama dengan "pekat". Kata "setimbang" tidak berarti jumlah zat sama. Kata "reduksi" dalam kimia modern tidak selalu berarti kehilangan oksigen, tetapi berkaitan dengan penerimaan elektron atau penurunan bilangan oksidasi. Glosarium membantu siswa menggunakan istilah secara benar.

AI dapat membantu membuat glosarium untuk satu bab, satu modul, atau seluruh buku. Namun, definisi harus divalidasi. Definisi glosarium harus ringkas, akurat, dan sesuai jenjang. Glosarium yang terlalu teknis dapat membingungkan siswa. Glosarium yang terlalu sederhana dapat salah.

Prompt:

"Buat glosarium materi larutan elektrolit untuk siswa SMA kelas X. Istilah yang harus ada: larutan, zat terlarut, pelarut, elektrolit, elektrolit kuat, elektrolit lemah, nonelektrolit, ion, molekul, disosiasi, ionisasi, daya hantar listrik, dan derajat ionisasi. Definisi harus singkat, akurat, dan disertai contoh jika perlu. Tambahkan catatan miskonsepsi untuk istilah yang rawan salah."

Prompt ini mengarahkan AI membuat glosarium yang sesuai topik dan mengantisipasi miskonsepsi.

4.6.8 Prinsip Menyusun Glosarium Kimia Berbantuan AI

Prinsip pertama adalah **akurasi definisi**. Definisi harus benar secara kimia. Misalnya, elektrolit kuat adalah zat yang dalam larutan menghasilkan banyak ion bebas karena terdisosiasi atau terionisasi hampir sempurna. Jangan mendefinisikan elektrolit kuat hanya sebagai "larutan yang sangat kuat menghantarkan listrik" tanpa menjelaskan ion.

Prinsip kedua adalah **ringkas tetapi tidak menyesatkan**. Glosarium bukan uraian panjang, tetapi tidak boleh menghilangkan makna penting. Definisi "asam kuat adalah asam yang kuat" tidak bermakna. Definisi yang lebih baik: "asam yang terionisasi hampir sempurna dalam air."

Prinsip ketiga adalah **sesuai jenjang**. Untuk siswa SMA, istilah dapat dijelaskan dengan bahasa sederhana. Untuk mahasiswa, definisi dapat lebih teknis. AI perlu diberi instruksi jenjang.

Prinsip keempat adalah **menyertakan contoh**. Contoh membantu siswa memahami istilah. Misalnya, HCl sebagai asam kuat, CH_3COOH sebagai asam lemah, NaCl sebagai elektrolit kuat, gula sebagai nonelektrolit.

Prinsip kelima adalah **membedakan istilah yang mirip**. Glosarium kimia harus membantu siswa membedakan istilah seperti atom-molekul-ion, asam kuat-asam pekat, titik akhir-titik ekuivalen, oksidasi-reduksi, anode-katode, elektrolit kuat-larutan pekat.

Prinsip keenam adalah **menyertakan catatan penggunaan**. Beberapa istilah perlu catatan. Misalnya, "katode" pada sel volta bermuatan positif, tetapi pada sel elektrolisis bermuatan negatif; namun katode tetap tempat reduksi. Catatan semacam ini sangat penting untuk mencegah miskonsepsi.

Prinsip ketujuh adalah **konsistensi istilah**. Dalam satu buku atau modul, istilah harus digunakan secara konsisten. AI dapat membantu memeriksa konsistensi, tetapi guru harus memvalidasi.

4.6.9 AI untuk Membuat Glosarium Per Bab

Dalam buku ajar, glosarium dapat dibuat per bab agar lebih fokus. AI dapat membantu membuat glosarium per bab berdasarkan daftar subbab atau teks bab. Guru dapat meminta AI mengekstrak istilah penting dari draf bahan ajar.

Prompt:

"Berdasarkan topik Bab Kesetimbangan Kimia, buat glosarium per bab untuk siswa SMA kelas XI. Istilah minimal: reaksi bolak-balik, sistem tertutup, kesetimbangan dinamis, laju reaksi maju, laju reaksi balik, konsentrasi setimbang, Kc, Qc, prinsip Le Chatelier, pergeseran kesetimbangan, katalis, reaksi eksoterm, dan reaksi endoterm. Definisi harus singkat, akurat, dan disertai catatan miskonsepsi jika relevan."

Glosarium per bab dapat diletakkan di akhir bab atau di awal bab sebagai persiapan membaca. Jika diletakkan di awal, definisi sebaiknya sangat ringkas agar tidak menggantikan penjelasan utama. Jika diletakkan di akhir, definisi dapat lebih lengkap.

4.6.10 AI untuk Membuat Glosarium Tematik

Glosarium tematik mengelompokkan istilah berdasarkan tema, bukan urutan alfabet. Dalam kimia, glosarium tematik dapat membantu siswa melihat hubungan istilah. Misalnya, pada tema larutan,

istilah dapat dikelompokkan menjadi konsep umum larutan, jenis zat terlarut, konsentrasi, elektrolit, dan reaksi dalam larutan.

Prompt:

“Buat glosarium tematik tentang larutan untuk siswa SMA. Kelompokkan istilah ke dalam kategori: konsep dasar larutan, konsentrasi, elektrolit, asam-basa, dan reaksi dalam larutan. Setiap istilah diberi definisi singkat dan contoh.”

Glosarium tematik dapat membantu siswa belajar secara terstruktur. Untuk elektrokimia, kategori dapat berupa redoks, komponen sel, aliran muatan, potensial sel, dan aplikasi.

Glosarium tematik juga berguna untuk pengembangan modul karena istilah disajikan sesuai alur konsep, bukan hanya alfabet.

4.6.11 AI untuk Membuat Glosarium Alfabetis

Glosarium alfabetis berguna untuk buku ajar karena pembaca dapat mencari istilah dengan cepat. AI dapat membantu menyusun glosarium alfabetis, terutama untuk buku panjang. Namun, guru perlu memastikan tidak ada istilah berulang, definisi tidak bertentangan, dan urutan alfabet benar.

Prompt:

“Buat glosarium alfabetis untuk materi kimia SMA tentang asam-basa, larutan penyangga, hidrolisis, dan titrasi. Definisi harus ringkas dan akurat. Sertakan contoh untuk istilah yang penting. Jangan membuat istilah yang tidak relevan.”

Glosarium alfabetis cocok di akhir buku. Untuk modul pendek, glosarium tematik sering lebih bermanfaat.

4.6.12 AI untuk Membuat Glosarium Berbasis Miskonsepsi

Glosarium berbasis miskonsepsi tidak hanya mendefinisikan istilah, tetapi juga memberi catatan “jangan keliru”. Ini sangat cocok untuk kimia.

Prompt:

“Buat glosarium berbasis miskonsepsi untuk materi asam-basa. Istilah: asam kuat, asam lemah, asam pekat, asam encer, pH, indikator, titik akhir, titik ekuivalen, netralisasi, dan larutan penyangga. Untuk setiap istilah, tuliskan definisi benar, contoh, dan bagian ‘jangan keliru’.”

Contoh:

- **Asam kuat**: asam yang terionisasi hampir sempurna dalam air. Contoh: HCl. **Jangan keliru**: asam kuat tidak selalu berarti larutannya pekat.

- **Titik ekuivalen**: titik saat jumlah mol asam dan basa bereaksi sesuai perbandingan stoikiometri.
  Jangan keliru: titik ekuivalen tidak selalu sama persis dengan titik akhir indikator.

Glosarium semacam ini sangat membantu siswa menghindari kesalahan umum.

4.6.13 AI untuk Menyusun Glosarium Bilingual atau Multibahasa

Dalam beberapa konteks, guru mungkin membutuhkan glosarium bilingual, misalnya Indonesia-Inggris, untuk membantu siswa membaca sumber internasional. AI dapat membantu membuat glosarium bilingual, tetapi istilah harus diperiksa agar padanannya tepat.

Prompt:

"Buat glosarium bilingual Indonesia-Inggris untuk materi kesetimbangan kimia. Kolom: istilah Indonesia, istilah Inggris, definisi singkat dalam bahasa Indonesia, contoh, dan catatan penggunaan. Istilah harus sesuai terminologi kimia umum."

Contoh istilah:

- Kesetimbangan dinamis — dynamic equilibrium.
- Tetapan kesetimbangan — equilibrium constant.
- Pergeseran kesetimbangan — shift in equilibrium.
- Laju reaksi maju — forward reaction rate.
- Laju reaksi balik — reverse reaction rate.

Glosarium bilingual membantu siswa mengenali istilah dalam buku teks atau artikel berbahasa Inggris. Namun, guru perlu memastikan istilah Inggris tidak diterjemahkan secara harfiah yang salah.

4.6.14 AI untuk Menghubungkan Peta Konsep dan Glosarium

Peta konsep dan glosarium dapat saling melengkapi. Peta konsep menunjukkan hubungan, sedangkan glosarium menjelaskan istilah. AI dapat membantu mengintegrasikan keduanya. Misalnya, setiap istilah dalam peta konsep dapat diberi definisi singkat dalam glosarium. Sebaliknya, glosarium dapat mencantumkan "lihat juga" untuk istilah terkait.

Prompt:

"Buat peta konsep dan glosarium terintegrasi untuk materi elektrokimia. Peta konsep menunjukkan hubungan antara redoks, oksidasi, reduksi, anode, katode, elektron, ion, jembatan garam, potensial sel, dan sel volta. Glosarium menjelaskan setiap istilah dan mencantumkan istilah terkait."

Dalam glosarium, istilah "anode" dapat mencantumkan "lihat juga: oksidasi, katode, sel volta, sel elektrolisis". Ini membantu siswa memahami istilah dalam jaringan konsep, bukan secara terpisah.

4.6.15 AI untuk Menyusun Aktivitas Belajar Berbasis Peta Konsep

Peta konsep dapat menjadi aktivitas belajar. AI dapat membantu merancang aktivitas yang meminta siswa membuat, melengkapi, membandingkan, atau memperbaiki peta konsep.

Contoh prompt:

"Buat aktivitas pembelajaran berbasis peta konsep untuk materi ikatan kimia. Siswa bekerja dalam kelompok untuk menyusun peta konsep yang menghubungkan ikatan ion, kovalen, logam, struktur zat, sifat fisik, titik leleh, daya hantar listrik, dan contoh zat. Sertakan instruksi, daftar konsep wajib, kriteria hubungan, pertanyaan diskusi, dan rubrik."

Aktivitas lain:

"Buat aktivitas membandingkan dua peta konsep tentang kesetimbangan kimia. Peta A benar, peta B memuat miskonsepsi. Siswa diminta menemukan perbedaan dan memperbaiki peta B. Sertakan kunci guru."

Peta konsep dapat digunakan untuk pembelajaran kolaboratif dan asesmen formatif.

4.6.16 AI untuk Menyusun Aktivitas Belajar Berbasis Glosarium

Glosarium juga dapat digunakan sebagai aktivitas belajar, bukan hanya daftar istilah. AI dapat membantu membuat aktivitas kartu istilah, mencocokkan istilah-definisi, mengelompokkan istilah, atau memperbaiki definisi salah.

Prompt:

"Buat aktivitas kartu glosarium untuk materi larutan elektrolit. Siswa mencocokkan kartu istilah, definisi, contoh, dan miskonsepsi. Istilah meliputi elektrolit kuat, elektrolit lemah, nonelektrolit, ion, molekul, disosiasi, ionisasi, dan daya hantar listrik. Sertakan instruksi dan kunci."

Aktivitas lain:

"Buat latihan memperbaiki definisi salah pada glosarium asam-basa. Berikan 10 definisi yang sebagian mengandung miskonsepsi. Siswa diminta menandai kesalahan dan menulis definisi benar. Sertakan kunci."

Aktivitas berbasis glosarium membantu siswa menggunakan bahasa kimia secara tepat.

4.6.17 Rubrik Penilaian Peta Konsep dan Glosarium

Jika peta konsep dan glosarium dijadikan tugas, guru perlu rubrik. AI dapat membantu membuat rubrik penilaian.

Prompt rubrik peta konsep:

“Buat rubrik penilaian peta konsep kimia skala 1–4. Aspek: kelengkapan konsep, ketepatan hubungan, penggunaan kata penghubung, hierarki konsep, keterhubungan representasi kimia, kerapian visual, dan kemampuan menjelaskan peta. Deskriptor harus operasional.”

Prompt rubrik glosarium:

“Buat rubrik penilaian glosarium kimia skala 1–4. Aspek: ketepatan definisi, kelengkapan istilah, contoh yang relevan, catatan miskonsepsi, konsistensi istilah, keterbacaan, dan sumber rujukan.”

Rubrik membantu siswa memahami standar kualitas. Peta konsep yang indah tetapi hubungan konsepnya salah tidak boleh mendapat nilai tinggi. Glosarium yang panjang tetapi definisinya kabur juga perlu diperbaiki.

4.6.18 Validasi Peta Konsep dan Glosarium Berbantuan AI

Peta konsep dan glosarium yang dibuat AI harus divalidasi. Validasi peta konsep mencakup ketepatan hubungan, kelengkapan konsep inti, hierarki, kata penghubung, dan potensi miskonsepsi. Validasi glosarium mencakup ketepatan definisi, contoh, istilah terkait, konsistensi, dan kesesuaian jenjang.

Prompt validasi peta konsep:

“Tinjau peta konsep kimia berikut. Periksa apakah hubungan antarkonsep benar, apakah ada hubungan yang terlalu umum, apakah ada miskonsepsi, apakah konsep inti belum masuk, dan apakah kata penghubung sudah jelas. Berikan revisi.”

Prompt validasi glosarium:

“Tinjau glosarium kimia berikut dari aspek akurasi definisi, kesesuaian jenjang SMA, contoh, konsistensi istilah, dan potensi miskonsepsi. Tandai istilah yang perlu direvisi dan berikan definisi yang lebih tepat.”

Validasi penting karena AI dapat membuat hubungan konsep yang terdengar logis tetapi salah. Misalnya, “katalis menggeser kesetimbangan” harus diperbaiki menjadi “katalis mempercepat tercapainya kesetimbangan tanpa mengubah komposisi setimbang”.

4.6.19 Tantangan Penyusunan Peta Konsep dan Glosarium dengan AI

Tantangan pertama adalah AI kadang membuat peta konsep berupa daftar topik, bukan hubungan proposisional. Guru perlu meminta kata penghubung yang jelas. Tantangan kedua adalah AI dapat membuat hierarki yang kurang tepat. Misalnya, menempatkan konsep turunan sebagai konsep utama atau sebaliknya. Tantangan ketiga adalah hubungan antarkonsep dapat terlalu umum, seperti “berhubungan dengan”, tanpa menjelaskan jenis hubungan.

Tantangan keempat adalah definisi glosarium dapat terlalu sederhana atau salah. Tantangan kelima adalah istilah yang mirip dapat tertukar. Tantangan keenam adalah contoh yang diberikan AI

kadang tidak sesuai atau terlalu teknis. Tantangan ketujuh adalah glosarium dapat tidak konsisten dengan istilah yang digunakan dalam modul atau buku. Tantangan kedelapan adalah peta konsep visual dapat terlalu padat jika memuat terlalu banyak konsep.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, guru perlu membatasi cakupan, meminta relasi eksplisit, menggunakan rubrik, memvalidasi dengan sumber kimia, dan melakukan revisi bertahap.

4.6.20 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu memanfaatkan peta konsep dan glosarium sebagai alat belajar aktif. AI dapat membantu membuat draf peta konsep dan glosarium, tetapi guru harus memastikan keduanya benar dan pedagogis. Peta konsep membantu siswa melihat struktur pengetahuan, sedangkan glosarium membantu siswa menguasai bahasa kimia. Keduanya sangat penting dalam pembelajaran kimia yang sering dipenuhi istilah dan relasi abstrak.

Calon guru kimia dapat dilatih membuat peta konsep dan glosarium berbantuan AI. Mereka dapat diminta membuat peta konsep guru, peta konsep siswa, glosarium berbasis miskonsepsi, dan aktivitas kelas berbasis istilah. Tugas harus disertai prompt, output AI, validasi, dan revisi.

Contoh tugas:

“Gunakan AI untuk membantu menyusun peta konsep dan glosarium pada satu topik kimia SMA. Produk harus memuat peta konsep guru, lembar aktivitas peta konsep siswa, glosarium istilah penting, catatan miskonsepsi, rubrik penilaian, dan validasi konsep. Lampirkan prompt, output AI, revisi, dan refleksi.”

Dengan demikian, AI dapat membantu menyusun peta konsep dan glosarium kimia secara cepat dan terstruktur. Namun, kualitasnya bergantung pada kejelasan prompt dan validasi guru. Peta konsep yang baik harus menunjukkan hubungan antarkonsep secara tepat, sedangkan glosarium yang baik harus mendefinisikan istilah secara ringkas, akurat, dan sesuai jenjang. Keduanya membantu siswa membangun pemahaman kimia yang lebih terorganisasi, konseptual, dan bermakna.

Subbab berikutnya adalah **4.7 AI untuk Membuat Rangkuman Konsep dan Materi Remedial**.

Subbab ini selesai. Ketik ‘lanjut’ atau ‘ya’ untuk melanjutkan ke subbab berikutnya.

4.7 AI untuk Membuat Rangkuman Konsep dan Materi Remedial

Rangkuman konsep dan materi remedial merupakan bagian penting dalam pengembangan bahan ajar kimia karena keduanya membantu peserta didik menata kembali pemahaman setelah proses pembelajaran berlangsung. Rangkuman konsep berfungsi menyarikan ide utama, hubungan antarkonsep, istilah penting, representasi kimia, dan kesimpulan pembelajaran. Materi remedial berfungsi membantu siswa yang belum mencapai pemahaman yang diharapkan, terutama ketika mereka mengalami miskonsepsi, kesulitan prosedural, atau kelemahan prasyarat. Dalam

pembelajaran kimia, keduanya sangat penting karena materi kimia sering bersifat abstrak, hierarkis, dan saling terkait.

AI dapat membantu guru membuat rangkuman konsep dan materi remedial secara cepat dan adaptif. Guru dapat meminta AI merangkum materi panjang menjadi poin-poin inti, membuat tabel perbandingan, menyusun peta konsep ringkas, membuat daftar kesalahan umum, menulis ulang penjelasan dengan bahasa lebih sederhana, menyusun latihan penguatan, dan membuat umpan balik. Namun, rangkuman dan remedial yang dibuat AI tetap harus divalidasi. Ringkasan yang terlalu singkat dapat menghilangkan makna penting, sedangkan remedial yang tidak tepat dapat memperkuat miskonsepsi.

Dalam kimia, rangkuman yang baik bukan hanya memadatkan teks, tetapi menegaskan struktur konsep. Misalnya, rangkuman tentang larutan elektrolit harus memuat hubungan antara ion bebas, daya hantar listrik, elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit. Rangkuman tentang kesetimbangan harus menegaskan bahwa reaksi maju dan balik tetap berlangsung, laju keduanya sama, dan konsentrasi zat tampak konstan. Rangkuman tentang asam-basa harus membedakan kekuatan asam dan konsentrasi larutan. Dengan demikian, rangkuman berperan sebagai alat konseptual, bukan sekadar pengulangan singkat.

Materi remedial juga harus dirancang berdasarkan diagnosis. Remedial tidak seharusnya berupa pengulangan materi yang sama persis. Jika siswa tidak paham karena miskonsepsi, guru perlu memberikan konflik kognitif, contoh pembanding, analogi terbatas, visualisasi, dan latihan yang menargetkan miskonsepsi. Jika siswa tidak paham karena kesulitan prosedural, remedial perlu memuat langkah penyelesaian yang lebih bertahap. Jika siswa lemah pada prasyarat, remedial harus kembali ke konsep dasar. AI dapat membantu menyusun semua bentuk remedial tersebut, asalkan guru memberikan informasi kesulitan siswa secara spesifik.

4.7.1 Hakikat Rangkuman Konsep dalam Pembelajaran Kimia

Rangkuman konsep adalah penyajian singkat tentang inti materi yang menonjolkan gagasan utama, istilah penting, hubungan antarkonsep, dan pesan konseptual yang harus dikuasai siswa. Rangkuman bukan sekadar memendekkan teks. Rangkuman harus membantu siswa melihat struktur pengetahuan. Dalam kimia, struktur pengetahuan sangat penting karena satu konsep sering menjadi dasar bagi konsep lain. Misalnya, konsep ion menjadi dasar untuk memahami elektrolit, asam-basa, kelarutan, dan elektrokimia.

Rangkuman konsep dapat dibuat dalam berbagai bentuk. Pertama, rangkuman naratif, yaitu ringkasan dalam bentuk paragraf pendek. Kedua, rangkuman poin, yaitu butir-butir konsep inti. Ketiga, rangkuman tabel, yaitu perbandingan konsep. Keempat, rangkuman peta konsep, yaitu hubungan antaristilah. Kelima, rangkuman visual, yaitu infografik atau diagram. Keenam, rangkuman berbasis pertanyaan, yaitu ringkasan yang disusun melalui pertanyaan dan jawaban.

AI dapat membantu membuat berbagai jenis rangkuman tersebut. Namun, guru perlu menentukan bentuk rangkuman yang paling sesuai. Untuk konsep yang bersifat perbandingan, tabel lebih efektif. Misalnya, tabel perbedaan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit. Untuk konsep yang bersifat proses, diagram alur lebih cocok. Misalnya, alur penyelesaian stoikiometri atau

mekanisme kerja larutan penyangga. Untuk konsep yang saling terhubung, peta konsep lebih sesuai. Misalnya, hubungan redoks, anode, katode, elektron, dan potensial sel.

Rangkuman konsep juga harus memperhatikan miskonsepsi. Dalam rangkuman kimia, bagian "jangan keliru" sangat penting. Misalnya, pada rangkuman kesetimbangan, perlu ditulis bahwa "konsentrasi konstan tidak berarti reaksi berhenti." Pada rangkuman asam-basa, perlu ditulis bahwa "asam kuat tidak selalu berarti larutan pekat." Pada rangkuman elektrolit, perlu ditulis bahwa "pembawa muatan dalam larutan adalah ion, bukan elektron bebas."

4.7.2 Fungsi Rangkuman Konsep dalam Bahan Ajar Kimia

Rangkuman konsep memiliki beberapa fungsi pedagogis. Pertama, rangkuman membantu siswa **mengorganisasi informasi**. Dalam satu topik kimia, siswa dapat menerima banyak informasi baru. Rangkuman membantu mereka melihat bagian inti yang harus dipahami.

Kedua, rangkuman membantu **mengurangi beban kognitif**. Materi kimia sering memuat simbol, persamaan, rumus, dan istilah yang padat. Rangkuman yang baik membantu siswa memproses informasi secara lebih teratur. Prinsip ini sejalan dengan teori beban kognitif yang menekankan pentingnya pengelolaan kompleksitas informasi dalam pembelajaran.

Ketiga, rangkuman membantu **retensi dan pengulangan**. Siswa dapat menggunakan rangkuman untuk belajar ulang sebelum asesmen. Namun, rangkuman harus tetap menuntut pemahaman, bukan hanya hafalan.

Keempat, rangkuman membantu **membangun hubungan antarkonsep**. Misalnya, rangkuman tentang asam-basa dapat menghubungkan pH, konsentrasi H^+, kekuatan asam, indikator, dan titrasi. Hubungan ini penting agar siswa tidak mempelajari konsep secara terpisah.

Kelima, rangkuman membantu **refleksi pembelajaran**. Guru dapat meminta siswa membandingkan rangkuman buatan AI dengan pemahaman mereka sendiri. Siswa dapat menandai bagian yang sudah dipahami, bagian yang belum, dan bagian yang perlu ditanyakan.

Keenam, rangkuman dapat menjadi **dasar remedial**. Jika siswa masih salah pada bagian tertentu dalam rangkuman, guru dapat membuat materi remedial yang lebih spesifik. Misalnya, jika siswa salah memahami bagian "ion bebas", maka remedial difokuskan pada representasi partikel dalam larutan.

4.7.3 AI untuk Membuat Rangkuman Naratif

Rangkuman naratif cocok digunakan ketika guru ingin menyajikan inti materi dalam bentuk paragraf singkat. AI dapat membantu mengubah uraian panjang menjadi ringkasan yang lebih padat. Namun, guru perlu memastikan bahwa ringkasan tidak menghilangkan hubungan konsep penting.

Contoh prompt:

“Buat rangkuman naratif 250 kata tentang larutan elektrolit dan nonelektrolit untuk siswa SMA kelas X. Rangkuman harus memuat konsep ion, daya hantar listrik, elektrolit kuat, elektrolit lemah, nonelektrolit, contoh NaCl, CH_3COOH, dan gula, serta miskonsepsi bahwa elektron bergerak dalam larutan. Gunakan bahasa sederhana dan akurat.”

Untuk kesetimbangan:

“Buat rangkuman naratif tentang kesetimbangan dinamis untuk siswa SMA kelas XI. Rangkuman harus menegaskan bahwa reaksi maju dan balik tetap berlangsung dengan laju sama, konsentrasi tampak konstan, jumlah reaktan dan produk tidak harus sama, dan katalis tidak mengubah nilai K.”

Rangkuman naratif sebaiknya tidak terlalu panjang. Jika terlalu panjang, fungsi ringkasnya hilang. Guru dapat meminta batas kata atau paragraf.

4.7.4 AI untuk Membuat Rangkuman Poin-Poin Inti

Rangkuman poin cocok untuk handout, slide, modul, atau persiapan ujian. AI dapat membantu membuat poin-poin inti yang sistematis.

Contoh prompt:

“Buat rangkuman poin-poin inti materi stoikiometri untuk siswa SMA kelas X. Rangkuman harus mencakup mol, massa molar, persamaan reaksi setara, koefisien sebagai perbandingan mol, langkah penyelesaian soal, satuan, dan kesalahan umum. Gunakan maksimal 12 poin.”

Untuk elektrokimia:

“Buat rangkuman poin inti tentang sel volta. Sertakan redoks, anode, katode, arah elektron, jembatan garam, potensial sel, dan miskonsepsi umum. Gunakan bahasa ringkas.”

Rangkuman poin harus disusun dengan urutan logis. Guru dapat meminta AI mengelompokkan poin ke dalam kategori, misalnya “konsep dasar”, “langkah kerja”, “contoh”, dan “miskonsepsi”.

4.7.5 AI untuk Membuat Rangkuman Tabel

Rangkuman tabel sangat berguna untuk konsep yang perlu dibandingkan. AI dapat membantu membuat tabel perbandingan dengan kolom yang relevan.

Contoh prompt:

“Buat rangkuman tabel perbandingan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit. Kolom: pengertian, partikel dalam larutan, daya hantar listrik, contoh, persamaan/representasi, dan miskonsepsi umum. Gunakan bahasa siswa SMA.”

Untuk asam-basa:

“Buat tabel perbandingan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer. Kolom: makna, dasar pembeda, contoh, hubungan dengan ionisasi/konsentrasi, dan kesalahan umum.”

Untuk sel volta dan sel elektrolisis:

“Buat tabel perbandingan sel volta dan sel elektrolisis. Kolom: spontanitas reaksi, perubahan energi, anode, katode, tanda elektroda, arah elektron, contoh, dan miskonsepsi.”

Tabel membantu siswa membedakan konsep yang mirip. Namun, tabel harus diperiksa karena AI kadang menyederhanakan secara berlebihan.

4.7.6 AI untuk Membuat Rangkuman Berbasis Peta Konsep

Rangkuman berbasis peta konsep membantu siswa melihat hubungan antarkonsep. AI dapat membuat peta konsep tekstual yang kemudian divisualisasikan.

Prompt:

“Buat rangkuman berbasis peta konsep tentang larutan penyangga. Tampilkan hubungan antara asam lemah, basa konjugasi, basa lemah, asam konjugasi, kesetimbangan, penambahan sedikit asam, penambahan sedikit basa, dan perubahan pH. Gunakan kata penghubung yang jelas.”

Peta konsep dapat membantu siswa memahami mekanisme buffer. Misalnya:

- Larutan penyangga asam terdiri atas asam lemah dan basa konjugasinya.
- Basa konjugasi bereaksi dengan H^+ yang ditambahkan.
- Asam lemah bereaksi dengan OH^- yang ditambahkan.
- Kedua proses membantu menahan perubahan pH.

AI dapat membantu membuat peta konsep guru atau peta konsep rumpang untuk siswa.

4.7.7 AI untuk Membuat Rangkuman Berbasis Pertanyaan

Rangkuman berbasis pertanyaan menyajikan materi dalam bentuk tanya jawab. Bentuk ini cocok untuk belajar mandiri karena mendorong siswa memeriksa pemahaman.

Contoh prompt:

“Buat rangkuman berbasis tanya jawab tentang kesetimbangan kimia untuk siswa SMA kelas XI. Buat 10 pertanyaan dan jawaban singkat. Pertanyaan harus mencakup kesetimbangan dinamis, laju maju-balik, konsentrasi konstan, K, Q, katalis, dan miskonsepsi umum.”

Contoh pertanyaan:

1. Apa yang dimaksud kesetimbangan dinamis?
2. Apakah reaksi berhenti pada keadaan setimbang?

3. Apakah konsentrasi reaktan dan produk harus sama?
4. Apa peran katalis dalam sistem setimbang?
5. Apa perbedaan Q dan K?

Rangkuman tanya jawab dapat digunakan sebagai kartu belajar atau bahan prabaca.

4.7.8 AI untuk Membuat Rangkuman Visual

Rangkuman visual dapat berbentuk infografik, diagram, atau slide ringkas. AI dapat membantu menyusun struktur dan teks visual. Namun, jika visual dibuat dengan alat generatif, akurasi harus divalidasi.

Prompt:

“Buat rancangan rangkuman visual satu halaman tentang faktor yang memengaruhi laju reaksi. Visual harus memuat suhu, konsentrasi, luas permukaan, dan katalis. Untuk setiap faktor, tuliskan pengaruh terhadap tumbukan efektif dan contoh sederhana. Sertakan bagian ‘jangan keliru’ tentang katalis.”

Untuk stoikiometri:

“Buat rancangan diagram alur rangkuman langkah penyelesaian soal stoikiometri: setarakan reaksi, ubah ke mol, gunakan perbandingan koefisien, ubah ke satuan yang diminta, periksa satuan. Sertakan contoh singkat.”

Rangkuman visual sangat berguna untuk siswa yang membutuhkan struktur cepat, tetapi guru harus memastikan visual tidak terlalu padat.

4.7.9 Hakikat Materi Remedial dalam Pembelajaran Kimia

Materi remedial adalah bahan pembelajaran yang dirancang untuk membantu siswa memperbaiki pemahaman atau keterampilan yang belum tuntas. Remedial bukan hukuman, bukan sekadar mengulang pelajaran, dan bukan hanya memberi soal tambahan. Remedial harus berbasis diagnosis. Guru perlu mengetahui mengapa siswa belum paham: apakah karena prasyarat lemah, miskonsepsi, kesalahan prosedur, kurang latihan, kesulitan membaca simbol, atau kesulitan menghubungkan representasi.

Dalam kimia, remedial sangat penting karena konsep bersifat hierarkis. Siswa yang belum memahami mol akan kesulitan pada stoikiometri. Siswa yang belum memahami ion akan kesulitan pada elektrolit, asam-basa, dan elektrokimia. Siswa yang belum memahami kesetimbangan akan kesulitan pada buffer dan hidrolisis. Karena itu, remedial harus kembali ke titik kesulitan yang tepat.

AI dapat membantu membuat materi remedial yang berbeda untuk jenis kesulitan berbeda. Misalnya, untuk topik elektrolit:

- Siswa yang mengira semua zat larut menghantarkan listrik memerlukan remedial tentang perbedaan larut sebagai ion dan larut sebagai molekul.
- Siswa yang mengira elektron bergerak dalam larutan memerlukan remedial tentang pembawa muatan dalam larutan.
- Siswa yang salah menulis disosiasi memerlukan remedial simbolik.
- Siswa yang salah mengklasifikasikan elektrolit lemah memerlukan remedial tentang ionisasi sebagian.

Remedial berbantuan AI sebaiknya disusun spesifik seperti ini.

4.7.10 AI untuk Membuat Remedial Berbasis Miskonsepsi

Remedial berbasis miskonsepsi bertujuan memperbaiki pemahaman keliru yang kuat. AI dapat membantu membuat penjelasan alternatif, contoh pembanding, konflik kognitif, pertanyaan reflektif, dan latihan.

Contoh prompt:

“Buat materi remedial untuk siswa SMA yang memiliki miskonsepsi bahwa larutan elektrolit menghantarkan listrik karena elektron bergerak bebas di dalam larutan. Materi harus menjelaskan perbedaan aliran elektron di kawat dan pergerakan ion dalam larutan, menggunakan contoh NaCl(aq), menyertakan diagram verbal, pertanyaan konflik kognitif, latihan, dan umpan balik.”

Untuk kesetimbangan:

“Buat materi remedial untuk miskonsepsi bahwa reaksi berhenti pada keadaan setimbang. Gunakan penjelasan sederhana, analogi terbatas, deskripsi simulasi partikel, grafik laju reaksi maju-balik, lima pertanyaan cek pemahaman, dan latihan benar-salah beralasan.”

Untuk asam-basa:

“Buat materi remedial untuk siswa yang menyamakan asam kuat dengan asam pekat. Jelaskan perbedaan derajat ionisasi dan konsentrasi, gunakan contoh HCl encer dan CH_3COOH pekat, sertakan tabel perbandingan dan latihan.”

Remedial berbasis miskonsepsi harus memberi siswa kesempatan membandingkan konsep salah dan benar.

4.7.11 AI untuk Membuat Remedial Berbasis Prasyarat

Jika siswa belum menguasai prasyarat, remedial harus kembali ke konsep dasar. AI dapat membantu memetakan prasyarat dan membuat bahan penguatan.

Contoh prompt:

“Buat materi remedial prasyarat untuk siswa yang akan belajar stoikiometri tetapi belum memahami konsep mol. Materi harus menjelaskan mol sebagai satuan jumlah zat, hubungan mol dengan jumlah partikel, massa molar, dan massa zat. Sertakan analogi terbatas, contoh sederhana, latihan, kunci, dan umpan balik.”

Untuk elektrokimia:

“Buat materi remedial prasyarat redoks sebelum belajar sel volta. Materi harus mencakup oksidasi, reduksi, bilangan oksidasi, oksidator, reduktor, transfer elektron, contoh sederhana, latihan, dan kunci.”

Remedial prasyarat membantu mencegah kesulitan berlanjut ke materi berikutnya. AI dapat membuat bahan pendek 20–30 menit yang digunakan sebelum pembelajaran utama.

4.7.12 AI untuk Membuat Remedial Prosedural

Kesulitan siswa tidak selalu konseptual. Pada kimia, banyak siswa memahami konsep tetapi salah prosedur. Misalnya, dalam stoikiometri, siswa lupa menyetarakan reaksi. Dalam pH, siswa salah menggunakan rumus. Dalam titrasi, siswa salah menghitung volume titran. Remedial prosedural membantu siswa memperbaiki langkah kerja.

Contoh prompt:

“Buat materi remedial prosedural untuk menyelesaikan soal stoikiometri massa-massa. Materi harus memuat peta langkah, contoh soal lengkap, latihan bertahap, kesalahan umum, kunci, dan umpan balik. Tekankan pentingnya menyetarakan reaksi dan menggunakan satuan.”

Untuk pH:

“Buat remedial prosedural untuk perhitungan pH asam kuat dan basa kuat. Jelaskan langkah menentukan $[H^+]$ atau $[OH^-]$, menghitung pH atau pOH, menggunakan hubungan pH + pOH = 14, serta kesalahan umum. Sertakan latihan dan pembahasan.”

Remedial prosedural harus memberi contoh langkah, tetapi tetap menjelaskan alasan konsep di balik langkah.

4.7.13 AI untuk Membuat Remedial Representasi Kimia

Banyak siswa kesulitan karena tidak mampu berpindah antarrepresentasi. Mereka mungkin memahami fenomena tetapi tidak mampu menulis simbol, atau mampu menggunakan rumus tetapi tidak memahami partikel. Remedial representasi membantu siswa menghubungkan makroskopik, submikroskopik, dan simbolik.

Contoh prompt:

“Buat materi remedial representasi kimia untuk topik reaksi pengendapan. Materi harus menghubungkan pengamatan terbentuknya endapan, partikel ion dalam larutan, persamaan molekul, persamaan ion lengkap, dan persamaan ion bersih. Sertakan contoh $AgNO_3$ dan NaCl, latihan, dan umpan balik.”

Untuk elektrolit:

“Buat remedial representasi untuk larutan elektrolit. Siswa harus mencocokkan data nyala lampu, gambar partikel, dan persamaan disosiasi. Sertakan tabel latihan dan kunci.”

Remedial representasi sangat penting karena kimia dipahami melalui perpindahan antarlevel.

4.7.14 AI untuk Membuat Remedial Berbasis Data Asesmen

AI dapat membantu membuat remedial berdasarkan data hasil asesmen. Guru dapat memberi ringkasan data tanpa identitas siswa. AI kemudian menyarankan kelompok kebutuhan dan bahan remedial.

Contoh prompt:

“Berdasarkan hasil kuis elektrolit berikut: 45% siswa salah memahami peran ion, 35% salah membedakan elektrolit kuat dan lemah, 25% salah menulis persamaan disosiasi. Buat tiga materi remedial singkat, masing-masing 20 menit, dengan tujuan, penjelasan inti, aktivitas, latihan, dan asesmen ulang.”

Dengan prompt ini, AI membantu membuat remedial berbasis kebutuhan nyata. Guru tetap harus memvalidasi isi dan menyesuaikan dengan kelas.

Data siswa harus dianonimkan. Tidak perlu memasukkan nama siswa ke AI. Cukup masukkan pola kesulitan atau kode anonim jika diperlukan.

4.7.15 AI untuk Membuat Remedial Adaptif

Remedial adaptif memberikan jalur berbeda sesuai jenis kesalahan. AI dapat membantu merancang alur bercabang.

Contoh prompt:

“Buat alur remedial adaptif untuk materi stoikiometri. Jika siswa salah pada konsep mol, arahkan ke jalur A. Jika salah menyetarakan reaksi, arahkan ke jalur B. Jika salah menggunakan koefisien, arahkan ke jalur C. Jika salah satuan, arahkan ke jalur D. Setiap jalur memuat penjelasan singkat, contoh, latihan, dan asesmen ulang.”

Alur adaptif dapat digunakan dalam modul digital atau lembar kerja cetak. Siswa mengerjakan soal diagnostik, lalu mengikuti jalur sesuai kesalahan.

Contoh struktur:

- Soal diagnostik 1: konsep mol.
- Jika salah, kerjakan Remedial A.
- Jika benar, lanjut ke soal diagnostik 2.
- Soal diagnostik 2: penyetaraan reaksi.
- Jika salah, kerjakan Remedial B.

AI dapat membantu membuat alur ini lebih sistematis.

4.7.16 AI untuk Membuat Latihan Remedial Bertahap

Latihan remedial harus bertahap. Siswa yang mengalami kesulitan tidak sebaiknya langsung diberi soal kompleks. AI dapat membantu menyusun latihan dari tingkat paling sederhana menuju penerapan.

Prompt:

"Buat latihan remedial bertahap tentang persamaan disosiasi elektrolit. Tingkat 1: mengenali ion dari rumus senyawa. Tingkat 2: menulis disosiasi senyawa ion sederhana. Tingkat 3: menghubungkan jumlah ion dengan daya hantar. Tingkat 4: soal aplikasi. Sertakan kunci dan umpan balik."

Untuk stoikiometri:

"Buat latihan remedial bertahap tentang penggunaan koefisien reaksi sebagai perbandingan mol. Mulai dari membaca koefisien, menentukan perbandingan mol, menyelesaikan soal mol-mol, lalu soal massa-mol. Sertakan pembahasan."

Latihan bertahap membantu siswa membangun kepercayaan diri dan memperbaiki kesalahan secara perlahan.

4.7.17 AI untuk Membuat Umpan Balik Remedial

Materi remedial perlu disertai umpan balik. Umpan balik harus spesifik terhadap kesalahan. AI dapat membantu membuat bank umpan balik.

Prompt:

"Buat bank umpan balik remedial untuk materi kesetimbangan kimia. Jenis kesalahan: mengira reaksi berhenti, mengira jumlah reaktan dan produk harus sama, mengira katalis mengubah K, salah membaca grafik konsentrasi, dan salah membedakan Q dan K. Untuk setiap kesalahan, tulis umpan balik singkat dan satu pertanyaan pemandu."

Umpan balik harus berorientasi perbaikan:

“Bagian yang perlu diperbaiki adalah anggapan bahwa reaksi berhenti. Pada kesetimbangan, reaksi maju dan balik tetap berlangsung, tetapi lajunya sama. Coba jelaskan perbedaan antara ‘konsentrasi konstan’ dan ‘reaksi berhenti’.”

AI dapat membuat variasi umpan balik, tetapi guru perlu memeriksa akurasi dan nada bahasa.

4.7.18 Validasi Rangkuman dan Materi Remedial Berbantuan AI

Rangkuman dan remedial harus divalidasi sebelum digunakan. Validasi rangkuman mencakup akurasi konsep, kelengkapan inti, keringkasan, keterbacaan, dan pencegahan miskonsepsi. Validasi remedial mencakup kesesuaian dengan diagnosis kesulitan, ketepatan konsep, langkah penguatan, latihan, umpan balik, dan asesmen ulang.

Prompt validasi rangkuman:

“Tinjau rangkuman kimia berikut dari aspek akurasi konsep, kelengkapan konsep inti, keringkasan, keterbacaan siswa SMA, dan potensi miskonsepsi. Berikan revisi konkret.”

Prompt validasi remedial:

“Tinjau materi remedial berikut. Periksa apakah materi benar-benar menargetkan miskonsepsi yang disebutkan, apakah penjelasan konsep benar, apakah latihan bertahap sesuai, apakah umpan balik membantu, dan apakah ada asesmen ulang. Berikan saran revisi.”

Guru harus memeriksa bagian-bagian rawan, terutama persamaan reaksi, istilah, dan generalisasi. Rangkuman yang salah dapat menyebarkan kesalahan dengan cepat karena siswa menganggapnya sebagai inti materi.

4.7.19 Tantangan Penggunaan AI untuk Rangkuman dan Remedial

Tantangan pertama adalah **ringkasan terlalu dangkal**. AI dapat membuat rangkuman yang singkat tetapi kehilangan relasi konsep. Tantangan kedua adalah **ringkasan terlalu panjang**. Jika guru tidak memberi batas, AI dapat menulis ulang materi secara panjang. Tantangan ketiga adalah **miskonsepsi tidak terdeteksi**. AI mungkin tidak memasukkan bagian “jangan keliru” jika tidak diminta.

Tantangan keempat adalah **remedial tidak berbasis diagnosis**. AI dapat membuat remedial umum yang tidak menargetkan kesalahan siswa. Tantangan kelima adalah **bahasa terlalu abstrak**. Siswa yang membutuhkan remedial biasanya memerlukan penjelasan lebih sederhana dan contoh konkret. Tantangan keenam adalah **latihan tidak bertahap**. AI kadang langsung memberi soal kompleks. Tantangan ketujuh adalah **umpan balik terlalu generik**. Misalnya, “pelajari lagi konsep ini” tanpa menjelaskan bagian yang salah.

Tantangan kedelapan adalah **risiko ketergantungan siswa**. Jika rangkuman selalu diberikan, siswa dapat tidak belajar membuat rangkuman sendiri. Karena itu, guru dapat meminta siswa

membandingkan rangkuman AI dengan rangkuman mereka sendiri. AI digunakan sebagai alat refleksi, bukan pengganti aktivitas berpikir.

4.7.20 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu memanfaatkan AI untuk membuat rangkuman dan remedial secara strategis. AI dapat mempercepat penyusunan ringkasan, tabel konsep, latihan remedial, dan umpan balik. Namun, guru harus memastikan bahwa rangkuman tidak menghilangkan makna penting dan remedial benar-benar menargetkan kesulitan siswa. Guru juga perlu melibatkan siswa dalam proses membuat, memeriksa, dan memperbaiki rangkuman agar mereka mengembangkan kemampuan metakognitif.

Calon guru kimia dapat dilatih membuat rangkuman dan remedial berbantuan AI. Mereka dapat diminta memilih satu topik, menyusun rangkuman konsep, mengidentifikasi miskonsepsi, membuat materi remedial, menyusun latihan bertahap, membuat umpan balik, dan memvalidasi hasil. Tugas ini membantu calon guru memahami bahwa remedial bukan sekadar pengulangan materi, tetapi intervensi pedagogis berdasarkan diagnosis.

Contoh tugas:

“Gunakan AI untuk membantu membuat rangkuman konsep dan materi remedial pada satu topik kimia SMA. Produk harus memuat rangkuman naratif, rangkuman tabel, daftar miskonsepsi, materi remedial untuk satu miskonsepsi utama, latihan bertahap, umpan balik, dan asesmen ulang. Lampirkan prompt, output AI, revisi, validasi konsep, dan refleksi.”

Dengan demikian, AI dapat membantu guru membuat rangkuman konsep dan materi remedial kimia secara lebih cepat, variatif, dan adaptif. Rangkuman membantu siswa menata kembali konsep inti, sedangkan remedial membantu memperbaiki kesulitan spesifik. Namun, keduanya harus tetap berbasis tujuan, diagnosis, akurasi konsep, representasi kimia, dan validasi guru. Rangkuman dan remedial berbantuan AI yang baik bukan hanya memudahkan belajar, tetapi membantu siswa memperbaiki pemahaman secara lebih sadar, sistematis, dan bermakna.

4.8 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual

Bahan ajar kontekstual merupakan bahan ajar yang menghubungkan konsep kimia dengan situasi nyata, pengalaman peserta didik, lingkungan sekitar, teknologi, industri, kesehatan, pangan, energi, material, dan isu sosial. Dalam pembelajaran kimia, pendekatan kontekstual sangat penting karena banyak siswa memandang kimia sebagai kumpulan rumus, simbol, dan istilah abstrak yang jauh dari kehidupan. Padahal kimia hadir dalam air minum, makanan, obat, tanah, pupuk, baterai, kosmetik, bahan pembersih, plastik, logam, udara, limbah, energi, dan berbagai proses kehidupan. Bahan ajar kontekstual membantu siswa melihat bahwa kimia bukan hanya pelajaran sekolah, melainkan ilmu untuk memahami dunia material.

AI dapat membantu guru mengembangkan bahan ajar kontekstual secara lebih cepat dan variatif. Guru dapat meminta AI membuat skenario kasus, teks bacaan kontekstual, studi kasus, proyek mini, aktivitas diskusi, infografik, soal berbasis konteks, pertanyaan literasi sains, bahan

pengayaan, atau LKPD berbasis masalah. AI dapat membantu menghubungkan topik kimia dengan konteks lingkungan lokal, rumah tangga, industri, pertanian, kesehatan, energi, dan teknologi. Namun, bahan ajar kontekstual berbantuan AI harus divalidasi secara hati-hati karena konteks nyata sering kompleks. AI dapat menyederhanakan secara berlebihan, membuat klaim yang tidak akurat, atau memberikan rekomendasi praktis yang tidak sesuai keilmuan.

Dalam pembelajaran kimia, bahan ajar kontekstual tidak boleh hanya berupa cerita pembuka yang menarik. Konteks harus benar-benar digunakan untuk membangun konsep. Misalnya, jika bahan ajar menggunakan konteks korosi pagar besi di daerah pesisir, maka siswa harus diarahkan memahami oksidasi, reduksi, peran air, oksigen, garam, dan pencegahan korosi. Jika bahan ajar menggunakan konteks pH tanah, maka siswa harus memahami asam-basa, pH, indikator, dan keterbatasan pengukuran sederhana. Jika bahan ajar menggunakan konteks baterai, maka siswa harus memahami redoks, aliran elektron, migrasi ion, dan perubahan energi. Konteks yang tidak dikaitkan secara eksplisit dengan konsep hanya akan menjadi hiasan naratif.

4.8.1 Hakikat Bahan Ajar Kontekstual dalam Kimia

Bahan ajar kontekstual adalah bahan ajar yang menempatkan konsep kimia dalam situasi nyata yang bermakna bagi peserta didik. Kontekstualisasi bukan sekadar memberi contoh kehidupan sehari-hari, tetapi menghubungkan konsep dengan masalah, data, keputusan, fenomena, atau produk nyata. Dengan pendekatan ini, siswa belajar bahwa konsep kimia memiliki fungsi untuk menjelaskan, memprediksi, mengevaluasi, dan mengambil keputusan.

Dalam kimia, konteks dapat dibagi menjadi beberapa jenis. Pertama, konteks **kehidupan sehari-hari**, seperti pH makanan, bahan pembersih, garam dapur, gula, cuka, sabun, kosmetik, dan obat maag. Kedua, konteks **lingkungan**, seperti pencemaran air, udara, tanah, plastik, limbah, korosi, dan kualitas air. Ketiga, konteks **teknologi dan industri**, seperti baterai, pupuk, polimer, cat, semen, baja, farmasi, dan pengolahan air. Keempat, konteks **kesehatan dan biokimia sederhana**, seperti larutan penyangga dalam tubuh, elektrolit tubuh, oksidasi makanan, dan enzim secara konseptual. Kelima, konteks **lokal**, yaitu fenomena yang dekat dengan kehidupan siswa, seperti air sumur, tanah pertanian, daerah pesisir, industri lokal, atau bahan alam sekitar.

AI dapat membantu guru menemukan dan mengembangkan konteks. Namun, guru perlu memilih konteks yang sesuai dengan tujuan pembelajaran, bukan hanya yang menarik. Misalnya, konteks baterai sangat cocok untuk elektrokimia, tetapi mungkin kurang tepat untuk pengantar ikatan kimia jika tidak dirancang dengan baik. Konteks plastik cocok untuk polimer, tetapi dapat juga digunakan untuk membahas ikatan kovalen, gaya antarmolekul, atau literasi lingkungan. Pemilihan konteks harus berdasarkan hubungan konseptual yang kuat.

Prompt umum untuk bahan ajar kontekstual:

“Bertindaklah sebagai guru kimia SMA dan pengembang bahan ajar kontekstual. Buat bahan ajar tentang [topik] dengan konteks [konteks]. Bahan harus memuat fenomena awal, tujuan pembelajaran, konsep kimia yang relevan, data atau informasi pendukung, aktivitas siswa, pertanyaan analisis, hubungan makro-submikro-simbolik, miskonsepsi yang perlu dihindari, asesmen formatif, dan refleksi.”

Prompt seperti ini membantu AI mengembangkan konteks menjadi bahan ajar yang pedagogis.

4.8.2 Prinsip Pengembangan Bahan Ajar Kontekstual Berbantuan AI

Prinsip pertama adalah **relevansi konsep**. Konteks harus berkaitan langsung dengan konsep yang dipelajari. Jika konsep yang dipelajari adalah larutan elektrolit, konteks minuman elektrolit, cairan infus, baterai, atau uji daya hantar larutan dapat digunakan. Jika konsep yang dipelajari adalah kesetimbangan, konteks proses Haber, hemoglobin secara sederhana, atau sistem buffer dapat dipilih. Konteks yang tidak relevan dapat membuat siswa tertarik tetapi tidak memahami konsep inti.

Prinsip kedua adalah **keakuratan ilmiah**. AI dapat menghasilkan narasi kontekstual yang terdengar meyakinkan, tetapi guru harus memeriksa fakta. Misalnya, dalam membahas plastik biodegradable, tidak tepat menyatakan bahwa semua bioplastik pasti cepat terurai di lingkungan alami. Dalam membahas pH air, tidak tepat menyimpulkan keamanan air minum hanya dari pH. Dalam membahas baterai, tidak tepat menyederhanakan bahwa elektron mengalir melalui elektrolit. Guru harus memeriksa klaim semacam ini.

Prinsip ketiga adalah **keterjangkauan jenjang**. Konteks nyata sering kompleks. Untuk siswa SMA, bahan ajar harus menyederhanakan tanpa menyesatkan. Misalnya, baterai lithium-ion dapat dijelaskan secara konseptual tanpa detail struktur elektroda yang terlalu teknis. Larutan penyangga darah dapat dijelaskan sebagai sistem yang membantu menahan perubahan pH tanpa masuk terlalu jauh ke fisiologi kompleks.

Prinsip keempat adalah **berbasis data atau bukti**. Bahan ajar kontekstual sebaiknya memuat data sederhana, grafik, tabel, pengamatan, atau klaim yang harus dianalisis. Ini membuat konteks menjadi alat berpikir ilmiah. Misalnya, dalam konteks kualitas air, siswa dapat diberi data pH, kekeruhan, bau, dan warna, lalu diminta menyimpulkan secara hati-hati.

Prinsip kelima adalah **menghindari klaim berlebihan**. Konteks lingkungan, kesehatan, dan teknologi sering rentan terhadap generalisasi. Guru harus mengarahkan AI agar menggunakan bahasa hati-hati. Misalnya, “data ini menunjukkan kemungkinan…” lebih tepat daripada “air ini pasti aman”. “Bioplastik dapat memiliki potensi…” lebih tepat daripada “bioplastik selalu ramah lingkungan”.

Prinsip keenam adalah **mendorong literasi sains**. Bahan ajar kontekstual harus mengajak siswa mengevaluasi informasi, membedakan fakta dan opini, melihat keterbatasan data, dan membuat keputusan berbasis bukti.

Prinsip ketujuh adalah **memperhatikan etika dan keselamatan**. Jika konteks melibatkan bahan kimia rumah tangga, eksperimen, lingkungan, atau kesehatan, bahan ajar harus menghindari instruksi berbahaya dan tidak menggantikan nasihat profesional.

4.8.3 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Kehidupan Sehari-hari

Kehidupan sehari-hari menyediakan banyak konteks kimia yang dekat dengan siswa. AI dapat membantu guru mengembangkan bahan ajar tentang cuka, sabun, garam, gula, air mineral, minuman elektrolit, obat maag, kosmetik, bahan pembersih, makanan, atau proses memasak. Konteks ini efektif karena siswa merasa materi kimia berkaitan dengan pengalaman mereka.

Contoh prompt:

"Buat bahan ajar kontekstual tentang asam-basa menggunakan konteks bahan rumah tangga seperti cuka, sabun, air jeruk, dan obat maag untuk siswa SMA kelas XI. Bahan harus memuat tujuan, fenomena awal, konsep asam-basa, pH secara kualitatif, indikator, aktivitas diskusi, pertanyaan analisis, K3 jika ada pengamatan sederhana, dan miskonsepsi yang perlu dihindari."

Bahan ajar ini dapat dimulai dari pertanyaan: "Mengapa cuka terasa asam, sabun terasa licin, dan obat maag dapat membantu menetralkan asam lambung?" Namun, guru perlu berhati-hati agar tidak memberi saran medis. Konteks obat maag digunakan untuk memahami netralisasi secara sederhana, bukan untuk memberi rekomendasi kesehatan.

Contoh lain:

"Buat bahan ajar kontekstual tentang larutan elektrolit menggunakan konteks minuman elektrolit dan cairan tubuh. Jelaskan konsep ion, daya hantar listrik, fungsi elektrolit secara umum, dan batasan pembahasan. Hindari klaim kesehatan berlebihan. Sertakan pertanyaan literasi sains."

Konteks sehari-hari membantu pembelajaran menjadi lebih dekat, tetapi tetap harus menjaga akurasi dan batas keilmuan.

4.8.4 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Lingkungan

Konteks lingkungan sangat relevan untuk pembelajaran kimia. Topik seperti pencemaran air, udara, tanah, plastik, korosi, limbah, hujan asam, pupuk, dan kualitas air dapat digunakan untuk mengembangkan literasi sains. AI dapat membantu membuat studi kasus, teks bacaan, data latihan, dan pertanyaan analisis.

Contoh prompt:

"Buat bahan ajar kontekstual tentang pencemaran air untuk siswa SMA. Fokus pada konsep larutan, pH, ion terlarut, dan keterbatasan data sederhana. Bahan harus memuat studi kasus, data pH dan kekeruhan simulatif, pertanyaan analisis, konsep kimia terkait, dan refleksi. Hindari menyimpulkan keamanan air hanya dari pH."

Bahan ajar semacam ini melatih siswa berpikir hati-hati. Misalnya, data pH normal tidak otomatis berarti air aman diminum karena masih ada kemungkinan kontaminan mikrobiologis atau kimia lain. Dengan demikian, siswa belajar keterbatasan data.

Untuk plastik:

“Buat bahan ajar kontekstual tentang plastik sekali pakai dan polimer untuk siswa SMA. Bahan harus menghubungkan struktur polimer, sifat plastik, penggunaan, masalah limbah, daur ulang, dan evaluasi klaim bioplastik. Sertakan teks, data sederhana, pertanyaan argumentatif, dan refleksi etika.”

Konteks lingkungan sangat baik untuk pembelajaran berbasis isu sosiosaintifik. Namun, guru perlu memastikan bahan ajar tidak berubah menjadi kampanye emosional tanpa konsep kimia.

4.8.5 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Teknologi dan Industri

Teknologi dan industri menyediakan konteks kimia yang kaya. Baterai, pupuk, obat, polimer, katalis, pengolahan air, cat, semen, logam, dan bahan bakar dapat digunakan untuk menjelaskan konsep kimia. AI dapat membantu menyusun bahan ajar yang menghubungkan konsep dengan teknologi.

Contoh prompt:

“Buat bahan ajar kontekstual tentang sel volta dengan konteks baterai. Ditujukan untuk siswa SMA kelas XII. Bahan harus menjelaskan redoks, anode, katode, aliran elektron, pergerakan ion, perubahan energi kimia menjadi energi listrik, dan isu daur ulang baterai secara sederhana. Sertakan diagram konseptual, pertanyaan analisis, dan miskonsepsi yang harus dihindari.”

Bahan ini harus menegaskan bahwa elektron bergerak melalui rangkaian luar, bukan melalui elektrolit. Ion bergerak dalam elektrolit untuk menjaga keseimbangan muatan. Kesalahan ini sangat umum dalam elektrokimia.

Untuk industri pupuk:

“Buat bahan ajar kontekstual tentang kesetimbangan kimia dengan konteks proses Haber. Jelaskan secara konseptual pengaruh suhu, tekanan, katalis, dan kesetimbangan. Hindari detail industri yang terlalu teknis. Sertakan data sederhana dan pertanyaan analisis.”

Konteks industri membantu siswa melihat aplikasi kimia, tetapi harus disederhanakan sesuai jenjang.

4.8.6 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Pangan

Kimia pangan menyediakan konteks yang dekat dan menarik. Topik seperti fermentasi, pengawetan, oksidasi makanan, pencoklatan buah, emulsifikasi, pH makanan, pemanasan, protein, karbohidrat, lemak, dan aditif dapat dikaitkan dengan konsep kimia. AI dapat membantu membuat bahan ajar yang aman dan tidak memberi klaim kesehatan berlebihan.

Contoh prompt:

“Buat bahan ajar kontekstual tentang reaksi oksidasi pada pencoklatan buah untuk siswa SMA. Bahan harus menghubungkan fenomena apel yang berubah cokelat dengan konsep oksidasi secara sederhana, peran oksigen, cara memperlambat reaksi, pertanyaan analisis, dan refleksi. Hindari klaim kesehatan berlebihan.”

Untuk emulsi:

“Buat bahan ajar kontekstual tentang emulsi menggunakan contoh mayones atau susu. Hubungkan dengan konsep campuran, koloid, emulgator, polar-nonpolar secara sederhana. Sertakan aktivitas observasi aman dan pertanyaan analisis.”

Konteks pangan harus digunakan secara ilmiah dan hati-hati. Guru perlu menghindari klaim nutrisi atau kesehatan yang tidak menjadi fokus pembelajaran kimia.

4.8.7 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Kesehatan secara Aman

Konteks kesehatan dapat menarik bagi siswa, tetapi harus sangat hati-hati. Guru dapat membahas konsep kimia seperti pH, buffer, elektrolit, obat, metabolisme sederhana, atau oksidasi, tetapi tidak boleh memberi diagnosis atau rekomendasi medis. AI perlu diberi batasan agar tidak membuat klaim kesehatan yang terlalu jauh.

Contoh prompt:

“Buat bahan ajar kontekstual tentang larutan penyangga dengan konteks pH darah untuk siswa SMA kelas XI. Jelaskan secara konseptual bahwa sistem buffer membantu menahan perubahan pH. Hindari detail medis, diagnosis, atau rekomendasi kesehatan. Sertakan konsep asam lemah-basa konjugasi, pertanyaan analisis, dan refleksi batas pembahasan.”

Untuk elektrolit tubuh:

“Buat bahan ajar kontekstual tentang ion elektrolit dalam tubuh untuk siswa SMA kelas X. Fokus pada konsep ion dan larutan elektrolit secara umum, bukan nasihat medis. Sertakan Na^+, K^+, Cl^- sebagai contoh ion, hubungan dengan daya hantar listrik, dan pertanyaan literasi sains.”

Konteks kesehatan harus selalu diberi batas: pembelajaran konsep, bukan saran medis.

4.8.8 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Lokal

Konteks lokal membuat pembelajaran lebih dekat dengan pengalaman siswa. Untuk daerah pesisir, korosi, garam, air payau, dan perikanan dapat menjadi konteks. Untuk daerah pertanian, pH tanah, pupuk, pestisida, dan kualitas air irigasi dapat digunakan. Untuk daerah industri, limbah, logam, polimer, atau pengolahan air dapat menjadi bahan diskusi. AI dapat membantu membuat bahan ajar lokal jika guru memberikan informasi konteks.

Contoh prompt:

“Buat bahan ajar kontekstual kimia tentang korosi besi di daerah pesisir untuk siswa SMA. Hubungkan dengan konsep redoks, air, oksigen, garam, dan pencegahan korosi. Sertakan fenomena lokal, pertanyaan diskusi, data sederhana, dan refleksi.”

Untuk pertanian:

“Buat bahan ajar kontekstual tentang pH tanah dan ketersediaan unsur hara untuk siswa SMA. Fokus pada konsep pH dan asam-basa secara sederhana. Hindari rekomendasi teknis pertanian yang terlalu spesifik. Sertakan data latihan dan pertanyaan analisis.”

Konteks lokal harus sesuai realitas siswa. Guru dapat menambahkan nama daerah, fenomena lokal, atau data sederhana yang relevan.

4.8.9 AI untuk Mengembangkan Studi Kasus Kontekstual

Studi kasus adalah bentuk bahan ajar kontekstual yang sangat efektif. Studi kasus memuat situasi, data, pertanyaan, dan tugas analisis. AI dapat membantu membuat studi kasus yang terstruktur.

Contoh prompt:

“Buat studi kasus kimia untuk siswa SMA tentang kualitas air sumur. Kasus memuat data pH, warna, bau, kekeruhan, dan informasi lingkungan sekitar. Siswa diminta menganalisis data, menyebut keterbatasan, menghubungkan dengan konsep larutan dan asam-basa, serta menyarankan pemeriksaan lanjutan secara umum. Hindari kesimpulan bahwa air aman diminum hanya dari data sederhana. Sertakan rubrik jawaban.”

Studi kasus harus mengajarkan kehati-hatian ilmiah. Siswa tidak boleh menyimpulkan melebihi data. AI dapat membantu menyusun kasus, tetapi guru harus memeriksa apakah data masuk akal dan pertanyaan sesuai jenjang.

4.8.10 AI untuk Mengembangkan Soal Berbasis Konteks

Soal berbasis konteks membantu siswa menerapkan konsep. AI dapat membantu membuat soal yang menggunakan data, grafik, kasus, atau fenomena nyata. Soal kontekstual harus tetap mengukur konsep, bukan hanya membaca cerita.

Contoh prompt:

“Buat lima soal berbasis konteks tentang larutan penyangga untuk siswa SMA kelas XI. Konteks meliputi pH darah secara konseptual, produk farmasi, dan sistem akuarium. Soal harus mengukur pemahaman mekanisme buffer, bukan sekadar hafalan. Sertakan kunci, pembahasan, dan miskonsepsi yang mungkin muncul.”

Untuk redoks:

“Buat soal berbasis konteks tentang korosi. Siswa diberi data pengamatan paku dalam kondisi kering, air biasa, dan air garam. Soal harus meminta siswa membuat klaim, menggunakan bukti, dan menjelaskan dengan konsep redoks. Sertakan rubrik.”

Soal berbasis konteks sebaiknya menggunakan stimulus yang cukup, tetapi tidak terlalu panjang. Stimulus harus relevan dengan pertanyaan.

4.8.11 AI untuk Mengembangkan LKPD Kontekstual

LKPD kontekstual mengarahkan siswa menyelidiki masalah nyata melalui aktivitas. AI dapat membantu membuat LKPD yang memuat skenario, data, pertanyaan, dan produk akhir.

Contoh prompt:

“Buat LKPD kontekstual berbasis masalah tentang plastik sekali pakai untuk siswa SMA. LKPD harus memuat skenario masalah, bacaan singkat, konsep polimer, data sederhana tentang penggunaan plastik, pertanyaan evaluasi klaim, tugas kelompok membuat rekomendasi, rubrik argumentasi, dan refleksi.”

Untuk baterai:

“Buat LKPD kontekstual tentang baterai dan elektrokimia. Siswa harus menganalisis bagaimana reaksi redoks menghasilkan listrik, membedakan aliran elektron dan ion, serta mengevaluasi isu limbah baterai. Sertakan pertanyaan, diagram konseptual, dan rubrik.”

LKPD kontekstual harus tetap mengarahkan siswa pada konsep kimia inti.

4.8.12 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Isu Sosiosaintifik

Isu sosiosaintifik adalah isu yang melibatkan sains, teknologi, masyarakat, etika, ekonomi, dan lingkungan. Dalam kimia, isu sosiosaintifik sangat kaya. AI dapat membantu mengembangkan bahan ajar yang meminta siswa mengevaluasi klaim, membuat argumen, mempertimbangkan bukti, dan mengambil posisi secara bertanggung jawab.

Contoh prompt:

“Buat bahan ajar berbasis isu sosiosaintifik tentang penggunaan pupuk kimia dalam pertanian. Hubungkan dengan konsep unsur hara, ion, kelarutan, dampak lingkungan, dan penggunaan bertanggung jawab. Sertakan teks kasus, data sederhana, pertanyaan pro-kontra, tugas argumentasi, dan refleksi etika. Hindari klaim sepihak.”

Untuk plastik:

“Buat bahan ajar isu sosiosaintifik tentang larangan plastik sekali pakai. Hubungkan konsep polimer, sifat bahan, daur ulang, alternatif material, dan dampak lingkungan. Sertakan beberapa sudut pandang dan pertanyaan berbasis bukti.”

Bahan ajar semacam ini mengembangkan literasi sains dan kemampuan mengambil keputusan.

4.8.13 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Literasi Data

Bahan ajar kontekstual sebaiknya melatih siswa membaca data. AI dapat membantu membuat data sederhana yang digunakan untuk analisis. Jika data dibuat untuk latihan, harus diberi label “data simulatif” atau “data latihan”.

Contoh prompt:

“Buat bahan ajar kontekstual berbasis data tentang pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Sajikan data simulatif waktu reaksi pada beberapa suhu. Siswa diminta membuat grafik, mengidentifikasi pola, menjelaskan dengan teori tumbukan, dan menyimpulkan. Sertakan kunci dan rubrik.”

Untuk kualitas air:

“Buat data latihan kualitas air sederhana yang memuat pH, kekeruhan, bau, dan warna dari tiga sampel. Siswa diminta menafsirkan data secara hati-hati, menyebut keterbatasan, dan menghubungkan dengan konsep larutan. Jangan menyimpulkan keamanan air minum.”

Literasi data membantu siswa memahami bahwa keputusan ilmiah memerlukan bukti dan batas interpretasi.

4.8.14 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Proyek

Proyek kontekstual memungkinkan siswa menghasilkan produk atau solusi berdasarkan konsep kimia. AI dapat membantu merancang proyek yang aman dan realistis.

Contoh prompt:

“Buat rancangan proyek kontekstual tentang indikator alami asam-basa untuk siswa SMA. Proyek menggunakan bahan tumbuhan lokal yang aman. Siswa membuat ekstrak indikator, menguji pada larutan aman, mencatat perubahan warna, membuat poster ilmiah, dan mempresentasikan keterbatasan. Sertakan tujuan, tahapan, K3, data, rubrik, dan refleksi.”

Untuk korosi:

“Buat proyek kontekstual tentang pencegahan korosi pada benda besi di lingkungan sekitar. Siswa mengamati kasus, menganalisis faktor penyebab, menghubungkan dengan redoks, dan membuat rekomendasi pencegahan. Sertakan batas keselamatan dan rubrik.”

Proyek kontekstual harus memperhatikan waktu, alat, bahan, dan keselamatan.

4.8.15 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual dengan Diferensiasi

Siswa memiliki kesiapan dan minat berbeda. AI dapat membantu membuat bahan ajar kontekstual dalam beberapa tingkat. Misalnya, pada topik elektrokimia:

- Tingkat dasar: baterai sebagai sumber listrik dan konsep redoks sederhana.
- Tingkat menengah: anode, katode, elektron, ion, dan potensial sel.
- Tingkat pengayaan: baterai isi ulang dan isu daur ulang.

Prompt:

"Buat bahan ajar kontekstual diferensiatif tentang baterai dan elektrokimia untuk siswa SMA. Buat tiga tingkat: dasar, reguler, dan pengayaan. Setiap tingkat memuat tujuan, bacaan singkat, aktivitas, pertanyaan, dan asesmen. Pastikan semua tingkat tetap mengarah pada konsep redoks."

Diferensiasi membantu guru melayani siswa yang beragam. AI dapat mempercepat pembuatan variasi bahan.

4.8.16 AI untuk Mengembangkan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Nilai dan Etika

Kimia berhubungan dengan keputusan etis: penggunaan bahan kimia, limbah, energi, plastik, pangan, kosmetik, farmasi, dan lingkungan. Bahan ajar kontekstual dapat memasukkan refleksi nilai dan etika. AI dapat membantu menyusun pertanyaan reflektif.

Contoh prompt:

"Buat bahan ajar kontekstual tentang limbah baterai. Hubungkan dengan konsep elektrokimia, logam, daur ulang, dan tanggung jawab lingkungan. Sertakan pertanyaan etika: siapa yang bertanggung jawab terhadap limbah baterai, bagaimana konsumen mengambil keputusan, dan apa keterbatasan solusi daur ulang."

Untuk plastik:

"Buat bahan ajar kontekstual tentang plastik dan tanggung jawab lingkungan. Sertakan konsep polimer, manfaat plastik, risiko limbah, alternatif, dan pertanyaan etika berbasis bukti. Hindari narasi hitam-putih."

Bahan ajar berbasis nilai harus seimbang. Kimia tidak hanya menolak atau menerima teknologi, tetapi membantu mengevaluasi dengan bukti.

4.8.17 Validasi Bahan Ajar Kontekstual Berbantuan AI

Validasi bahan ajar kontekstual mencakup beberapa aspek. Pertama, **validasi konsep kimia**. Apakah konsep yang digunakan benar? Kedua, **validasi konteks**. Apakah konteks realistis dan tidak menyesatkan? Ketiga, **validasi data**. Apakah data masuk akal dan diberi keterangan jika

simulatif? Keempat, **validasi klaim**. Apakah ada klaim berlebihan? Kelima, **validasi jenjang**. Apakah bahan sesuai usia dan pengetahuan siswa?

Keenam, **validasi keselamatan**. Jika bahan melibatkan aktivitas praktis, apakah aman? Ketujuh, **validasi etika**. Apakah bahan menghormati kompleksitas isu dan tidak memberi rekomendasi di luar kewenangan? Kedelapan, **validasi asesmen**. Apakah pertanyaan benar-benar mengukur pemahaman konsep?

Prompt validasi:

"Tinjau bahan ajar kontekstual berikut dari aspek akurasi konsep kimia, relevansi konteks, validitas data, potensi klaim berlebihan, kesesuaian jenjang, keselamatan, etika, dan kualitas pertanyaan analisis. Berikan revisi konkret."

Guru tetap harus menggunakan sumber valid dan pengalaman profesional untuk memeriksa konteks.

4.8.18 Tantangan Pengembangan Bahan Ajar Kontekstual dengan AI

Tantangan pertama adalah **konteks menjadi hiasan**. AI dapat membuat cerita menarik tetapi tidak menghubungkannya dengan konsep. Tantangan kedua adalah **klaim tidak akurat**. AI dapat menyatakan sesuatu secara terlalu pasti. Tantangan ketiga adalah **konteks terlalu kompleks**. Bahan ajar dapat melampaui kemampuan siswa. Tantangan keempat adalah **ketidaksesuaian lokal**. AI mungkin memberikan contoh yang tidak dekat dengan kehidupan siswa.

Tantangan kelima adalah **risiko keselamatan**. Konteks bahan kimia rumah tangga dapat berbahaya jika siswa diminta mencampur bahan tanpa kontrol. Tantangan keenam adalah **bias atau sudut pandang tunggal**. Isu sosiosaintifik perlu disajikan seimbang. Tantangan ketujuh adalah **data simulatif dianggap data nyata**. Guru harus memberi label yang jelas. Tantangan kedelapan adalah **pengayaan berubah menjadi informasi populer tanpa konsep kimia**.

Untuk mengatasi tantangan ini, guru harus memberi prompt yang jelas, memvalidasi klaim, menggunakan konteks yang relevan, menambahkan data atau aktivitas analisis, dan memastikan konsep kimia tetap menjadi pusat pembelajaran.

4.8.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu mengembangkan kemampuan merancang bahan ajar kontekstual berbantuan AI. Kemampuan ini mencakup pemilihan konteks, pengaitan konsep, penyusunan aktivitas, validasi data, penyusunan pertanyaan, serta pengendalian klaim. AI dapat memperkaya ide, tetapi guru harus memastikan bahwa konteks benar-benar mendukung pembelajaran.

Calon guru kimia perlu dilatih membuat bahan ajar kontekstual dengan proses yang terdokumentasi. Mereka dapat memilih satu topik kimia, menentukan konteks lokal atau isu nyata, meminta bantuan AI menyusun bahan, lalu memvalidasi konsep dan konteks. Tugas ini membantu

calon guru memahami bahwa pembelajaran kontekstual bukan sekadar membuat materi lebih menarik, tetapi menjadikan kimia sebagai alat untuk memahami realitas.

Contoh tugas:

“Gunakan AI untuk membantu membuat bahan ajar kontekstual pada satu topik kimia SMA. Produk harus memuat konteks nyata, konsep kimia, data atau informasi pendukung, aktivitas siswa, pertanyaan analisis, asesmen formatif, refleksi, dan validasi klaim. Lampirkan prompt, output AI, revisi, sumber validasi, dan refleksi.”

Dengan demikian, AI dapat membantu mengembangkan bahan ajar kimia kontekstual yang kaya, relevan, dan bermakna. AI dapat menghasilkan ide konteks, studi kasus, data latihan, pertanyaan literasi sains, proyek, dan bahan pengayaan. Namun, guru tetap harus menjadi pengarah dan validator agar konteks tidak menyesatkan, tidak berlebihan, dan benar-benar menguatkan konsep kimia. Bahan ajar kontekstual berbantuan AI yang baik membantu siswa melihat kimia sebagai ilmu yang hidup dalam lingkungan, teknologi, kesehatan, pangan, industri, dan keputusan sosial sehari-hari.

4.9 Validasi Akurasi Konsep dalam Bahan Ajar Berbantuan AI

Validasi akurasi konsep merupakan tahap paling penting dalam pengembangan bahan ajar kimia berbantuan AI. Bahan ajar yang disusun dengan bantuan AI dapat tampak rapi, sistematis, dan meyakinkan secara bahasa, tetapi belum tentu benar secara kimia. Dalam pembelajaran kimia, kesalahan konsep kecil dapat menimbulkan dampak besar karena banyak konsep saling bergantung. Jika siswa salah memahami ion, mereka akan kesulitan memahami elektrolit, asam-basa, kelarutan, dan elektrokimia. Jika siswa salah memahami kesetimbangan dinamis, mereka akan kesulitan memahami larutan penyangga, hidrolisis, dan prinsip Le Chatelier. Karena itu, validasi konsep bukan tahap tambahan, melainkan syarat utama sebelum bahan ajar digunakan.

AI bekerja dengan menghasilkan teks berdasarkan pola bahasa dan data yang pernah dipelajari, bukan berdasarkan eksperimen langsung atau pemahaman ilmiah seperti manusia. Keluaran AI dapat mengandung *hallucination*, generalisasi berlebihan, istilah tidak tepat, referensi tidak valid, atau penjelasan yang terlalu disederhanakan. Dalam kimia, bentuk kesalahan ini dapat muncul sebagai persamaan reaksi yang tidak setara, muatan ion salah, perbedaan konsep yang dicampuradukkan, mekanisme yang keliru, diagram partikel yang tidak akurat, atau klaim kontekstual yang terlalu pasti. Oleh sebab itu, guru harus berperan sebagai validator ilmiah.

Validasi akurasi konsep dalam bahan ajar berbantuan AI mencakup pemeriksaan isi, istilah, simbol, representasi, contoh, analogi, visual, soal, kunci jawaban, aktivitas praktikum, dan klaim kontekstual. Validasi juga mencakup pemeriksaan apakah bahan ajar menghindari miskonsepsi dan tidak menimbulkan miskonsepsi baru. Dalam pembelajaran kimia, validasi tidak cukup dilakukan dengan membaca sekilas. Guru perlu memeriksa bagian-bagian rawan secara sistematis menggunakan sumber yang valid, buku teks bereputasi, literatur pendidikan kimia, standar kurikulum, dan pengalaman pedagogis.

4.9.1 Hakikat Validasi Akurasi Konsep Kimia

Validasi akurasi konsep adalah proses memeriksa apakah isi bahan ajar sesuai dengan konsep kimia yang benar, dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah, dan sesuai dengan tingkat perkembangan peserta didik. Validasi ini mencakup dua dimensi utama. Dimensi pertama adalah **kebenaran ilmiah**, yaitu apakah konsep, istilah, rumus, persamaan, data, dan penjelasan sesuai dengan kimia. Dimensi kedua adalah **kebenaran pedagogis**, yaitu apakah konsep disajikan dengan cara yang tidak menyesatkan, tidak terlalu menyederhanakan, dan sesuai dengan kemampuan siswa.

Kebenaran ilmiah sangat penting karena bahan ajar adalah sumber belajar. Jika bahan ajar salah, siswa dapat membangun pengetahuan yang salah. Misalnya, jika bahan ajar menyatakan bahwa "larutan elektrolit menghantarkan listrik karena elektron bergerak bebas dalam larutan", maka siswa akan salah memahami mekanisme daya hantar. Konsep yang benar adalah bahwa pembawa muatan dalam larutan adalah ion, sedangkan elektron bergerak melalui rangkaian luar pada sistem elektrokimia tertentu. Kesalahan ini bukan sekadar kesalahan kata, tetapi kesalahan model mental.

Kebenaran pedagogis juga penting. Penjelasan dapat benar secara ilmiah tetapi terlalu sulit untuk siswa. Sebaliknya, penjelasan dapat sederhana tetapi berpotensi menyesatkan. Misalnya, mengatakan "atom ingin stabil" dapat membantu secara awal, tetapi jika tidak diberi batas, siswa dapat mengira atom memiliki kehendak. Analogi seperti ini perlu diberi penjelasan bahwa atom tidak "ingin" dalam arti psikologis, tetapi sistem kimia cenderung menuju keadaan energi yang lebih stabil dalam kondisi tertentu. Guru harus menyeimbangkan kesederhanaan dan ketepatan.

AI dapat membantu membuat bahan ajar, tetapi validasi konsep harus dilakukan oleh manusia yang memahami kimia dan pedagogi. Guru tidak boleh menganggap keluaran AI sebagai kebenaran final. Keluaran AI sebaiknya diperlakukan sebagai draf yang perlu diperiksa, direvisi, dan dikurasi.

4.9.2 Jenis Kesalahan Konsep yang Sering Muncul dalam Bahan Ajar AI

Kesalahan pertama adalah **penyederhanaan berlebihan**. AI dapat membuat penjelasan singkat yang tampak mudah, tetapi menghilangkan aspek penting. Misalnya, menyatakan "asam kuat memiliki pH lebih rendah daripada asam lemah" tanpa mempertimbangkan konsentrasi. Pernyataan ini dapat benar pada kondisi tertentu, tetapi tidak selalu benar. Asam kuat yang sangat encer dapat memiliki pH lebih tinggi daripada asam lemah yang lebih pekat.

Kesalahan kedua adalah **pencampuran istilah**. AI dapat mencampur istilah yang mirip, seperti ionisasi dan disosiasi, titik akhir dan titik ekuivalen, asam kuat dan asam pekat, oksidasi dan reduksi, anode dan katode, atau elektrolit kuat dan larutan pekat. Dalam kimia, istilah memiliki batas makna yang tegas.

Kesalahan ketiga adalah **kesalahan simbol dan persamaan**. AI dapat menulis persamaan reaksi yang tidak setara, muatan ion yang salah, fase yang tidak tepat, atau rumus kimia yang keliru. Misalnya, menulis kalsium ion sebagai Ca^{+} bukan Ca^{2+}, atau menulis persamaan disosiasi yang tidak memperhatikan koefisien ion.

Kesalahan keempat adalah **kesalahan representasi submikroskopik**. AI dapat menggambarkan asam lemah seolah-olah terionisasi total, menggambarkan gula sebagai ion, atau menggambarkan elektron bebas dalam larutan elektrolit. Representasi submikroskopik yang salah sangat berbahaya karena siswa membangun model mental dari gambar.

Kesalahan kelima adalah **kesalahan mekanisme**. Pada elektrokimia, AI dapat salah menjelaskan arah aliran elektron, fungsi jembatan garam, atau lokasi oksidasi-reduksi. Pada kesetimbangan, AI dapat salah menyatakan bahwa katalis menggeser kesetimbangan. Pada laju reaksi, AI dapat menyederhanakan bahwa suhu hanya "mempercepat gerak" tanpa menghubungkan energi tumbukan efektif.

Kesalahan keenam adalah **klaim kontekstual berlebihan**. Dalam bahan ajar kontekstual, AI dapat menyatakan bahwa semua bioplastik ramah lingkungan, semua bahan alami aman, pH air normal berarti air aman diminum, atau minuman elektrolit selalu diperlukan. Klaim seperti ini harus dikoreksi karena konteks nyata lebih kompleks.

Kesalahan ketujuh adalah **referensi palsu atau tidak valid**. Jika AI diminta membuat daftar pustaka, ia dapat menghasilkan referensi yang tampak ilmiah tetapi tidak ada atau tidak sesuai. Guru harus memverifikasi setiap referensi.

4.9.3 Area Konsep Kimia yang Perlu Validasi Ketat

Beberapa topik kimia memerlukan validasi sangat ketat karena sering menimbulkan miskonsepsi. Pertama, **larutan elektrolit**. Guru harus memeriksa apakah bahan ajar menjelaskan peran ion dengan benar, membedakan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit, serta tidak menyatakan bahwa elektron bergerak bebas dalam larutan.

Kedua, **asam-basa**. Validasi perlu memastikan perbedaan asam kuat, asam lemah, asam pekat, dan asam encer. Guru juga harus memeriksa konsep pH, indikator, netralisasi, titik akhir, titik ekuivalen, hidrolisis, dan buffer.

Ketiga, **kesetimbangan kimia**. Guru harus memastikan bahwa kesetimbangan dijelaskan sebagai keadaan dinamis, bukan reaksi berhenti. Konsentrasi reaktan dan produk konstan, tetapi tidak harus sama. Katalis mempercepat tercapainya kesetimbangan, tetapi tidak mengubah nilai tetapan kesetimbangan.

Keempat, **elektrokimia**. Validasi perlu memeriksa anode, katode, oksidasi, reduksi, arah elektron, aliran ion, jembatan garam, notasi sel, dan tanda elektroda. Kesalahan pada topik ini sangat umum.

Kelima, **ikatan kimia dan gaya antarmolekul**. Guru harus memastikan bahan ajar membedakan ikatan intramolekul dan gaya antarmolekul. Misalnya, air mendidih bukan karena ikatan kovalen O–H terputus, melainkan karena molekul air bergerak lebih bebas setelah mengatasi sebagian interaksi antarmolekul.

Keenam, **stoikiometri**. Validasi perlu memeriksa koefisien reaksi, massa molar, mol, satuan, perbandingan mol, pereaksi pembatas, dan rendemen.

Ketujuh, **termokimia**. Guru perlu memeriksa tanda ΔH, perbedaan eksoterm-endoterm, sistem-lingkungan, diagram energi, kalor, dan satuan.

Kedelapan, **kimia organik dan polimer**. Validasi perlu memeriksa struktur, gugus fungsi, isomer, reaksi, dan klaim tentang biodegradasi atau material ramah lingkungan.

4.9.4 Validasi Istilah dan Definisi

Istilah kimia harus digunakan secara tepat. AI dapat menghasilkan definisi yang tampak wajar tetapi terlalu umum. Guru perlu memeriksa definisi istilah dalam bahan ajar, glosarium, tabel, slide, dan soal. Definisi harus sesuai dengan jenjang tetapi tidak salah.

Contoh istilah yang perlu divalidasi:

Istilah	Risiko Kesalahan	Validasi yang Diperlukan
Elektrolit kuat	Disamakan dengan larutan pekat	Harus dikaitkan dengan ionisasi/disosiasi hampir sempurna
Asam kuat	Disamakan dengan asam pekat	Harus dikaitkan dengan derajat ionisasi
Kesetimbangan	Diartikan jumlah sama atau reaksi berhenti	Harus dijelaskan sebagai dinamis
Katode	Dianggap selalu bermuatan positif	Harus dibedakan pada sel volta dan elektrolisis
Katalis	Dianggap mengubah hasil akhir kesetimbangan	Harus dijelaskan menurunkan energi aktivasi dan tidak mengubah K
Titik akhir	Disamakan dengan titik ekuivalen	Harus dibedakan secara konseptual

Validasi istilah dapat dilakukan dengan prompt:

“Tinjau definisi istilah kimia berikut. Identifikasi definisi yang terlalu umum, salah, atau berpotensi menimbulkan miskonsepsi. Revisi definisi agar akurat untuk siswa SMA.”

Namun, hasil tinjauan AI tetap perlu dibandingkan dengan sumber tepercaya.

4.9.5 Validasi Persamaan Reaksi, Rumus, dan Simbol

Persamaan reaksi, rumus, dan simbol adalah bagian yang sangat rawan kesalahan. AI dapat menulis teks lancar, tetapi salah menuliskan koefisien, muatan, fase, atau rumus. Guru harus memeriksa semua persamaan reaksi.

Aspek yang perlu diperiksa:

1. Apakah rumus zat benar?
2. Apakah muatan ion benar?
3. Apakah persamaan setara?
4. Apakah fase zat sesuai?
5. Apakah koefisien benar?
6. Apakah tanda panah sesuai?

7. Apakah reaksi sesuai konteks?
8. Apakah persamaan ion bersih benar?
9. Apakah satuan benar dalam perhitungan?
10. Apakah simbol termodinamika atau elektrokimia digunakan tepat?

Contoh validasi pada reaksi pengendapan:

Persamaan molekul:
$AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \rightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$

Persamaan ion lengkap:
$Ag^+(aq) + NO_3^-(aq) + Na^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s) + Na^+(aq) + NO_3^-(aq)$

Persamaan ion bersih:
$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$

Jika AI menulis $NaNO_3$ sebagai endapan, itu salah. Jika AI menghilangkan muatan ion, perlu diperbaiki.

Prompt validasi:

"Periksa persamaan reaksi berikut. Pastikan rumus, koefisien, muatan ion, fase, dan persamaan ion bersih benar. Tunjukkan bagian yang perlu direvisi."

Guru tetap perlu menghitung dan memeriksa sendiri.

4.9.6 Validasi Representasi Makroskopik, Submikroskopik, dan Simbolik

Bahan ajar kimia yang baik harus menghubungkan tiga level representasi. Namun, hubungan ini sering salah atau tidak lengkap. AI dapat membuat penjelasan verbal tanpa representasi partikel. Sebaliknya, AI dapat membuat diagram partikel yang tidak akurat. Guru harus memvalidasi apakah representasi sesuai.

Pada materi elektrolit:

- Makroskopik: lampu menyala terang, redup, atau tidak menyala.
- Submikroskopik: jumlah ion bebas berbeda.
- Simbolik: persamaan disosiasi atau ionisasi.

Validasi harus memastikan ketiganya saling konsisten. Jika bahan ajar menyatakan CH_3COOH sebagai elektrolit lemah, diagram partikel harus menunjukkan sebagian besar molekul CH_3COOH tetap utuh dan sebagian kecil terionisasi. Jika diagram menunjukkan semua CH_3COOH menjadi ion, representasi salah.

Pada materi kesetimbangan:

- Makroskopik: warna atau konsentrasi tampak konstan.
- Submikroskopik: reaksi maju dan balik tetap berlangsung.
- Simbolik: Kc atau persamaan reaksi bolak-balik.

Validasi harus memastikan bahan ajar tidak menyimpulkan reaksi berhenti karena konsentrasi konstan.

Prompt validasi:

"Tinjau bagian representasi kimia berikut. Periksa apakah level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik sudah konsisten. Identifikasi bagian yang dapat menimbulkan miskonsepsi dan berikan revisi."

4.9.7 Validasi Analogi dan Penyederhanaan

Analogi sering digunakan untuk menjelaskan konsep kimia abstrak. AI dapat membuat analogi yang menarik, tetapi analogi harus divalidasi. Analogi yang tidak diberi batas dapat menimbulkan miskonsepsi. Misalnya, kesetimbangan sering dianalogikan dengan dua orang yang memindahkan bola dengan jumlah sama per waktu. Analogi ini dapat membantu menjelaskan laju maju dan balik yang sama, tetapi tidak menggambarkan struktur molekul atau energi reaksi.

Validasi analogi perlu menjawab:

1. Konsep apa yang dibantu oleh analogi?
2. Bagian analogi mana yang sesuai?
3. Bagian analogi mana yang tidak sesuai?
4. Apakah analogi dapat menimbulkan miskonsepsi?
5. Apakah perlu ditambahkan batas analogi?

Contoh prompt:

"Tinjau analogi berikut untuk menjelaskan kesetimbangan kimia. Jelaskan bagian yang tepat, bagian yang terbatas, potensi miskonsepsi, dan revisi agar lebih aman secara pedagogis."

Guru perlu memastikan setiap analogi dalam bahan ajar memiliki "batas analogi". Misalnya:

"Analogi ini hanya membantu memahami bahwa proses dua arah tetap berlangsung. Analogi ini tidak menggambarkan detail partikel, energi, atau mekanisme reaksi."

Dengan cara ini, analogi menjadi alat bantu, bukan sumber miskonsepsi.

4.9.8 Validasi Visual dan Gambar Kimia

Visual kimia perlu validasi khusus. Gambar yang salah dapat lebih berbahaya daripada teks salah karena siswa sering mengingat visual dengan kuat. AI generatif gambar dapat menghasilkan

molekul dengan ikatan aneh, muatan tidak tepat, susunan partikel tidak benar, atau teks label yang salah.

Aspek validasi visual:

1. Apakah partikel yang ditampilkan sesuai?
2. Apakah muatan ion benar?
3. Apakah jumlah partikel merepresentasikan konsep dengan tepat?
4. Apakah arah panah benar?
5. Apakah label benar?
6. Apakah visual membedakan level representasi?
7. Apakah model terlalu literal?
8. Apakah ada elemen dekoratif yang mengganggu?
9. Apakah visual sesuai jenjang?
10. Apakah caption menjelaskan batas model?

Contoh pada larutan elektrolit: visual harus menampilkan ion bebas, bukan elektron bebas. Pada asam lemah, visual harus menunjukkan ionisasi sebagian. Pada perubahan wujud, molekul tetap utuh. Pada sel volta, elektron mengalir melalui kawat luar, bukan melalui jembatan garam.

Prompt validasi visual:

“Tinjau deskripsi media visual berikut dari aspek akurasi kimia, label, representasi partikel, potensi miskonsepsi, dan kesesuaian untuk siswa SMA. Berikan revisi detail.”

Jika visual bersifat sangat presisi, seperti struktur molekul organik, guru sebaiknya menggunakan perangkat kimia khusus atau sumber ilmiah yang valid.

4.9.9 Validasi Soal, Kunci, dan Pembahasan

AI dapat membantu membuat soal, tetapi soal dan kunci harus diperiksa. Validasi soal mencakup kesesuaian indikator, kejelasan bahasa, kebenaran kunci, kualitas distraktor, level kognitif, dan pembahasan. Pada soal perhitungan, guru harus menghitung ulang. Pada soal konsep, guru harus memeriksa apakah ada ambiguitas.

Aspek validasi soal:

1. Apakah soal sesuai tujuan?
2. Apakah stimulus cukup jelas?
3. Apakah hanya ada satu jawaban benar untuk pilihan ganda?
4. Apakah kunci benar?
5. Apakah distraktor bermakna?
6. Apakah pembahasan tepat?
7. Apakah soal sesuai jenjang?
8. Apakah soal tidak menimbulkan miskonsepsi?
9. Apakah data konsisten?

10. Apakah satuan benar?

Prompt validasi:

“Tinjau soal kimia berikut beserta kunci dan pembahasannya. Periksa akurasi konsep, kebenaran perhitungan, kejelasan bahasa, kualitas distraktor, dan kesesuaian indikator. Berikan revisi.”

Soal AI tidak boleh langsung digunakan dalam asesmen tanpa pemeriksaan. Kesalahan kunci dapat merugikan siswa.

4.9.10 Validasi Aktivitas Praktikum dan Eksperimen

Jika bahan ajar memuat praktikum atau eksperimen, validasi harus mencakup keselamatan dan konsep. AI dapat menyarankan prosedur yang tampak menarik tetapi tidak aman atau tidak realistis. Guru harus memeriksa alat, bahan, konsentrasi, risiko, limbah, waktu, dan pengawasan.

Aspek validasi praktikum:

1. Apakah tujuan praktikum jelas?
2. Apakah bahan aman untuk jenjang siswa?
3. Apakah konsentrasi larutan sesuai?
4. Apakah prosedur aman?
5. Apakah K3 spesifik?
6. Apakah APD disebutkan jika diperlukan?
7. Apakah ada risiko gas berbahaya, panas, tekanan, api, atau listrik?
8. Apakah limbah dikelola?
9. Apakah data dapat dikumpulkan?
10. Apakah pertanyaan analisis sesuai konsep?

Prompt validasi:

“Tinjau LKPD praktikum berikut dari aspek keselamatan, alat-bahan, konsentrasi, prosedur, K3, pengelolaan limbah, kelayakan waktu, dan akurasi konsep. Revisi agar aman untuk siswa SMA.”

Guru atau laboran harus menjadi validator akhir. Dalam kimia, keselamatan tidak dapat diserahkan kepada AI.

4.9.11 Validasi Klaim dalam Bahan Ajar Kontekstual

Bahan ajar kontekstual sering memuat klaim tentang lingkungan, kesehatan, teknologi, pangan, atau industri. Klaim semacam ini harus divalidasi. AI dapat membuat pernyataan yang terlalu umum atau tidak tepat.

Contoh klaim yang perlu diwaspadai:

- “Semua bahan alami aman.”

- “Semua bioplastik ramah lingkungan.”
- “Air dengan pH 7 pasti aman diminum.”
- “Minuman elektrolit selalu diperlukan setelah olahraga.”
- “Baterai kendaraan listrik tidak mencemari lingkungan.”
- “Katalis membuat reaksi menghasilkan produk lebih banyak.”

Guru perlu mengubah klaim menjadi pernyataan yang lebih hati-hati dan berbasis data. Misalnya:

“Bioplastik dapat memiliki potensi mengurangi masalah tertentu, tetapi dampaknya bergantung pada bahan, proses produksi, kondisi degradasi, sistem pengelolaan limbah, dan analisis siklus hidup.”

Prompt validasi klaim:

“Tinjau klaim dalam bahan ajar kontekstual berikut. Identifikasi klaim yang terlalu umum, tidak akurat, atau membutuhkan bukti tambahan. Revisi dengan bahasa ilmiah yang lebih hati-hati dan sesuai siswa SMA.”

Bahan ajar kontekstual harus melatih siswa berpikir kritis, bukan menerima klaim sederhana.

4.9.12 Validasi Sumber dan Referensi

AI dapat membantu menyusun daftar pustaka, tetapi referensi yang dihasilkan harus diverifikasi. AI dapat membuat referensi palsu, DOI salah, judul tidak akurat, atau sumber tidak relevan. Dalam bahan ajar akademik, referensi harus valid.

Langkah validasi referensi:

1. Periksa apakah sumber benar-benar ada.
2. Periksa kesesuaian penulis, tahun, judul, jurnal, volume, halaman, dan DOI.
3. Pastikan sumber relevan dengan klaim.
4. Gunakan sumber primer atau buku teks bereputasi untuk konsep kimia.
5. Gunakan literatur pendidikan kimia untuk miskonsepsi dan pedagogi.
6. Hindari mengutip sumber populer untuk klaim ilmiah utama.
7. Periksa kebaruan jika topik teknologi atau kebijakan.
8. Pastikan format sitasi konsisten.

Dalam buku ajar kimia, referensi tidak hanya formalitas. Referensi menunjukkan dasar ilmiah bahan ajar. Guru perlu menggunakan sumber tepercaya seperti buku kimia umum, jurnal pendidikan kimia, *Journal of Chemical Education*, *Chemistry Education Research and Practice*, *International Journal of Science Education*, dan sumber lembaga ilmiah yang relevan.

Prompt bantuan:

“Periksa daftar pustaka berikut. Tandai referensi yang tampak tidak lengkap, tidak konsisten, atau perlu diverifikasi. Jangan membuat referensi baru tanpa dasar.”

Tetap perlu verifikasi manual atau pencarian bibliografis.

4.9.13 Instrumen Validasi Konsep Bahan Ajar Berbantuan AI

Guru dapat menggunakan instrumen validasi untuk memeriksa bahan ajar. Instrumen ini dapat berbentuk skala 1–4 dengan kolom catatan. AI dapat membantu membuat instrumen, tetapi guru dapat menyesuaikan.

Contoh aspek validasi:

Aspek	Indikator
Kesesuaian tujuan	Materi sesuai capaian dan indikator
Akurasi konsep	Definisi, prinsip, dan penjelasan benar
Akurasi simbolik	Rumus, persamaan, muatan, satuan benar
Representasi kimia	Makro-submikro-simbolik terhubung
Miskonsepsi	Miskonsepsi diantisipasi dan tidak diperkuat
Contoh	Contoh benar, relevan, dan sesuai jenjang
Visual	Gambar/diagram benar dan berlabel tepat
Soal	Soal, kunci, dan pembahasan benar
Praktikum	Prosedur aman dan konsep tepat
Klaim kontekstual	Klaim hati-hati dan berbasis bukti
Bahasa	Sesuai jenjang dan tidak ambigu
Referensi	Sumber valid dan relevan

Prompt:

“Buat lembar validasi akurasi konsep bahan ajar kimia berbantuan AI dengan skala 1–4. Aspek harus mencakup tujuan, konsep, simbol, representasi, miskonsepsi, visual, soal, praktikum, klaim kontekstual, bahasa, dan referensi. Sertakan kolom saran revisi.”

Instrumen ini dapat digunakan oleh guru, rekan sejawat, dosen, atau ahli materi.

4.9.14 Prosedur Validasi Bertahap

Validasi sebaiknya dilakukan bertahap. Tahap pertama adalah **validasi mandiri oleh penyusun**. Guru membaca dan memeriksa bahan ajar sendiri. Tahap kedua adalah **validasi AI-assisted review**, yaitu meminta AI meninjau potensi kesalahan, tetapi bukan sebagai validator final. Tahap ketiga adalah **validasi sejawat**, yaitu meminta rekan guru atau dosen memeriksa isi. Tahap keempat adalah **validasi ahli**, jika bahan akan dipublikasikan atau digunakan luas. Tahap kelima adalah **uji keterbacaan siswa**, yaitu melihat apakah siswa memahami instruksi dan bahasa. Tahap keenam adalah **revisi akhir**.

Alur validasi:

1. Baca bahan ajar secara menyeluruh.
2. Tandai istilah, rumus, persamaan, visual, dan soal yang perlu diperiksa.

3. Cocokkan dengan sumber valid.
4. Gunakan instrumen validasi.
5. Minta masukan sejawat.
6. Revisi bahan.
7. Uji pada kelompok kecil.
8. Perbaiki berdasarkan respons siswa.
9. Dokumentasikan revisi.

Validasi bertahap membantu mengurangi risiko kesalahan. Bahan ajar yang dibuat AI sebaiknya tidak langsung diberikan kepada siswa tanpa proses ini.

4.9.15 Prompt untuk Membantu Validasi Konsep

AI dapat digunakan sebagai alat bantu validasi awal. Guru dapat meminta AI mencari potensi kelemahan, tetapi hasilnya harus diperiksa. Prompt yang baik meminta AI bersikap kritis.

Contoh prompt:

“Tinjau teks bahan ajar kimia berikut secara kritis. Identifikasi kemungkinan kesalahan konsep, penyederhanaan berlebihan, istilah ambigu, potensi miskonsepsi, persamaan yang perlu diperiksa, dan bagian yang perlu rujukan. Jangan hanya memberi pujian. Berikan revisi konkret.”

Prompt untuk visual:

“Tinjau deskripsi gambar kimia berikut. Periksa apakah partikel, ion, muatan, arah panah, dan label sesuai konsep. Identifikasi risiko miskonsepsi.”

Prompt untuk soal:

“Tinjau soal dan kunci berikut. Periksa apakah soal sesuai indikator, kunci benar, distraktor bermakna, dan pembahasan tepat.”

Prompt untuk konteks:

“Tinjau bahan ajar kontekstual berikut. Identifikasi klaim yang terlalu pasti, membutuhkan data, atau berisiko menyesatkan.”

AI dapat membantu menemukan masalah awal, tetapi guru tetap harus memutuskan revisi final.

4.9.16 Dokumentasi Validasi dan Revisi

Validasi bahan ajar berbantuan AI sebaiknya didokumentasikan. Dokumentasi menunjukkan bahwa guru tidak sekadar menyalin output AI, tetapi melakukan kurasi profesional. Dokumentasi dapat mencakup prompt awal, output AI, catatan validasi, sumber rujukan, revisi, dan versi final.

Format dokumentasi:

Bagian Bahan Ajar	Temuan Validasi	Sumber/Rujukan	Revisi yang Dilakukan	Status
Definisi elektrolit	Belum menyebut ion bebas	Buku kimia umum	Ditambahkan peran ion	Selesai
Diagram CH_3COOH	Ionisasi digambarkan total	Konsep asam lemah	Diubah menjadi ionisasi sebagian	Selesai
Soal pH	Kunci salah	Perhitungan ulang	Kunci diperbaiki	Selesai
Klaim bioplastik	Terlalu umum	Literatur lingkungan	Bahasa dibuat lebih hati-hati	Selesai

Dokumentasi ini bermanfaat untuk portofolio guru, penjaminan mutu bahan ajar, dan pembelajaran calon guru.

4.9.17 Validasi oleh Siswa melalui Umpan Balik Keterbacaan

Selain validasi ahli, bahan ajar juga perlu diuji keterbacaan. Siswa dapat membantu menunjukkan bagian yang membingungkan, terlalu sulit, atau ambigu. Uji keterbacaan tidak menggantikan validasi konsep, tetapi membantu memastikan bahan ajar dapat dipahami.

Pertanyaan untuk siswa:

1. Bagian mana yang paling mudah dipahami?
2. Bagian mana yang membingungkan?
3. Istilah apa yang belum jelas?
4. Gambar atau tabel mana yang membantu?
5. Soal mana yang sulit dipahami bahasanya?
6. Apakah instruksi aktivitas jelas?
7. Apa yang perlu diperbaiki?

AI dapat membantu menyusun angket keterbacaan:

“Buat angket keterbacaan bahan ajar kimia untuk siswa SMA. Angket harus menilai kejelasan bahasa, urutan materi, visual, contoh, latihan, dan bagian yang membingungkan. Gunakan skala 1–4 dan pertanyaan terbuka.”

Masukan siswa membantu guru memperbaiki bahan ajar agar lebih komunikatif.

4.9.18 Tantangan Validasi Bahan Ajar Berbantuan AI

Tantangan pertama adalah **output AI tampak sangat meyakinkan**. Bahasa yang rapi dapat membuat guru kurang kritis. Tantangan kedua adalah **waktu validasi**. Memeriksa semua bagian bahan ajar membutuhkan waktu. Namun, waktu ini tetap diperlukan karena kesalahan konsep dapat berdampak panjang.

Tantangan ketiga adalah **keterbatasan sumber**. Guru perlu memiliki akses ke buku teks atau literatur valid. Tantangan keempat adalah **kesulitan memvalidasi visual**. Visual kimia

membutuhkan pemahaman representasi. Tantangan kelima adalah **topik kontekstual yang kompleks**. Isu lingkungan, kesehatan, atau teknologi memerlukan kehati-hatian.

Tantangan keenam adalah **ketergantungan pada AI untuk memvalidasi AI**. AI dapat membantu meninjau, tetapi tidak boleh menjadi satu-satunya validator. Tantangan ketujuh adalah **referensi palsu**. Guru perlu memeriksa daftar pustaka. Tantangan kedelapan adalah **perbedaan tingkat kedalaman**. Materi yang benar untuk mahasiswa bisa terlalu sulit untuk siswa SMA.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, guru perlu menggunakan instrumen validasi, bekerja sama dengan sejawat, memeriksa sumber valid, menguji keterbacaan, dan mendokumentasikan revisi.

4.9.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Validasi akurasi konsep menegaskan bahwa guru tetap menjadi aktor utama dalam pengembangan bahan ajar. AI dapat membantu menghasilkan draf, tetapi guru bertanggung jawab atas kebenaran dan kelayakan bahan ajar. Guru kimia perlu memiliki kompetensi kurasi, yaitu kemampuan memilih, memeriksa, memperbaiki, dan menyusun ulang output AI.

Calon guru kimia perlu dilatih melakukan validasi bahan ajar AI. Mereka dapat diberi tugas mengevaluasi bahan ajar buatan AI yang sengaja memuat beberapa kesalahan konsep. Mereka diminta menemukan kesalahan, menjelaskan konsep yang benar, memperbaiki materi, dan mencatat sumber validasi. Tugas semacam ini melatih literasi AI, literasi kimia, dan tanggung jawab profesional.

Contoh tugas:

“Gunakan AI untuk membuat bahan ajar satu topik kimia. Setelah itu, lakukan validasi akurasi konsep menggunakan instrumen validasi. Tandai bagian yang salah, ambigu, atau berpotensi menimbulkan miskonsepsi. Revisi bahan ajar dan tuliskan alasan revisi.”

Dengan demikian, validasi bukan sekadar pemeriksaan akhir, tetapi bagian dari proses belajar menjadi guru kimia yang profesional.

4.9.20 Prinsip Akhir Validasi Bahan Ajar AI

Beberapa prinsip akhir perlu ditegaskan. Pertama, **jangan menggunakan output AI mentah sebagai bahan ajar final**. Kedua, **periksa semua istilah, rumus, persamaan, visual, dan soal**. Ketiga, **gunakan sumber ilmiah yang valid**. Keempat, **minta masukan sejawat jika bahan akan digunakan luas**. Kelima, **uji keterbacaan pada siswa**. Keenam, **dokumentasikan revisi**. Ketujuh, **perhatikan keselamatan jika ada praktikum**. Kedelapan, **hindari klaim berlebihan dalam konteks nyata**. Kesembilan, **pastikan bahan ajar menghindari miskonsepsi**. Kesepuluh, **posisikan AI sebagai asisten, bukan otoritas ilmiah**.

Dengan demikian, validasi akurasi konsep merupakan fondasi utama pengembangan bahan ajar kimia berbantuan AI. AI dapat mempercepat penulisan, memperkaya variasi, dan membantu membuat struktur bahan ajar. Namun, keakuratan konsep, keselamatan, dan kualitas pedagogis

tetap harus dijamin oleh guru. Bahan ajar kimia yang baik bukan hanya tampak rapi dan lengkap, tetapi benar secara ilmiah, sesuai jenjang, menghubungkan representasi, menghindari miskonsepsi, dan membantu siswa memahami kimia secara bermakna.

4.10 Peran Guru sebagai Kurator, Editor, dan Validator Bahan Ajar AI

Perkembangan AI dalam pendidikan tidak menghapus peran guru, tetapi mengubah dan memperluas peran guru. Jika sebelumnya guru terutama berperan sebagai penyusun, penyampai, dan penilai bahan ajar, maka dalam ekosistem pembelajaran berbantuan AI guru juga harus menjadi **kurator**, **editor**, dan **validator**. Peran ini sangat penting dalam pembelajaran kimia karena bahan ajar kimia harus benar secara konsep, aman secara praktikum, sesuai jenjang, dan tidak menimbulkan miskonsepsi. AI dapat menghasilkan bahan ajar dengan cepat, tetapi guru tetap bertanggung jawab memastikan kualitas akademik dan pedagogisnya.

Guru sebagai kurator berarti guru memilih, memilah, dan menentukan bagian mana dari keluaran AI yang layak digunakan. Tidak semua output AI relevan dengan tujuan pembelajaran. Tidak semua contoh sesuai dengan konteks kelas. Tidak semua aktivitas dapat dilaksanakan. Tidak semua penjelasan cocok untuk jenjang peserta didik. Guru perlu membaca keluaran AI secara kritis, memilih bagian yang berguna, membuang bagian yang tidak tepat, dan menyesuaikannya dengan kebutuhan siswa.

Guru sebagai editor berarti guru memperbaiki, menyusun ulang, menyederhanakan, memperjelas, dan memperindah bahan ajar AI agar menjadi bahan ajar yang layak digunakan. Output AI sering kali masih terlalu panjang, terlalu umum, terlalu teknis, atau kurang terarah. Guru perlu mengedit struktur, bahasa, contoh, alur, aktivitas, visual, soal, dan instruksi. Dalam kimia, proses editing tidak hanya menyangkut gaya bahasa, tetapi juga akurasi ilmiah dan representasi konsep.

Guru sebagai validator berarti guru memeriksa kebenaran konsep, keselamatan, validitas asesmen, kualitas sumber, dan potensi miskonsepsi. Peran validator merupakan peran paling kritis karena AI dapat menghasilkan penjelasan yang tampak benar tetapi salah. Dalam kimia, kesalahan konsep dapat berdampak panjang. Oleh karena itu, guru tidak boleh menyerahkan otoritas ilmiah kepada AI. AI dapat menjadi asisten, tetapi guru tetap menjadi penanggung jawab akademik.

4.10.1 Guru sebagai Kurator Bahan Ajar AI

Kurasi bahan ajar adalah proses memilih dan mengorganisasi materi agar sesuai dengan tujuan pembelajaran, karakter siswa, kurikulum, dan konteks kelas. Dalam penggunaan AI, guru sering memperoleh banyak output: uraian materi, contoh soal, tabel, aktivitas, LKPD, rubrik, glosarium, atau infografik. Tidak semuanya harus digunakan. Guru harus menentukan mana yang relevan, mana yang perlu direvisi, dan mana yang harus dibuang.

Dalam pembelajaran kimia, kurasi harus mempertimbangkan struktur konsep. Misalnya, AI dapat menghasilkan bahan ajar tentang larutan penyangga yang langsung memuat rumus Henderson-Hasselbalch. Namun, jika siswa belum memahami asam lemah, basa konjugasi, dan kesetimbangan, bagian rumus tersebut belum layak dijadikan titik awal. Guru perlu mengkurasi urutan materi agar dimulai dari konsep mekanisme buffer sebelum perhitungan.

Kurasi juga berkaitan dengan pemilihan konteks. AI dapat memberi banyak contoh konteks kimia: baterai, makanan, kosmetik, obat, limbah, plastik, dan industri. Guru perlu memilih konteks yang dekat dengan siswa dan relevan dengan konsep. Jika konteks terlalu jauh atau terlalu kompleks, bahan ajar dapat membingungkan. Misalnya, baterai lithium-ion dapat menjadi konteks pengayaan elektrokimia, tetapi untuk pengantar redoks siswa SMA, contoh yang lebih sederhana mungkin lebih tepat.

Guru juga perlu mengkurasi tingkat kesulitan. AI dapat menghasilkan soal yang terlalu mudah atau terlalu sulit. Guru perlu memilih soal yang sesuai dengan indikator. Untuk siswa yang baru belajar elektrolit, soal sebaiknya berfokus pada ion dan daya hantar. Untuk siswa yang sudah lebih lanjut, soal dapat berbasis data atau aplikasi. Kurasi membuat bahan ajar tidak hanya banyak, tetapi tepat guna.

4.10.2 Guru sebagai Editor Bahasa dan Struktur

Output AI sering kali membutuhkan penyuntingan bahasa dan struktur. AI dapat menghasilkan kalimat yang panjang, repetitif, atau terlalu akademis. Guru perlu mengubahnya menjadi bahasa yang sesuai dengan siswa. Untuk siswa SMA, kalimat perlu jelas, langsung, dan tidak terlalu padat. Istilah teknis tetap digunakan, tetapi harus dijelaskan.

Editing struktur juga penting. Bahan ajar yang baik memiliki alur dari mudah ke sulit, dari konkret ke abstrak, dari fenomena ke konsep, dan dari konsep ke aplikasi. AI kadang menyusun materi secara meloncat. Misalnya, pada materi kesetimbangan, AI dapat membahas Kc sebelum siswa memahami kesetimbangan dinamis. Guru perlu menyusun ulang agar alur lebih pedagogis.

Dalam bahan ajar kimia, editing bahasa harus tetap menjaga akurasi. Penyederhanaan tidak boleh mengubah konsep. Misalnya, menyederhanakan “asam kuat adalah asam yang terionisasi hampir sempurna dalam air” menjadi “asam kuat adalah asam yang sangat asam” tidak tepat karena mengaburkan konsep. Penyederhanaan yang lebih baik adalah: “asam kuat adalah asam yang hampir seluruh partikelnya berubah menjadi ion ketika dilarutkan dalam air.”

Guru juga perlu mengedit bagian instruksi aktivitas. LKPD yang baik harus memiliki instruksi yang jelas. Jika AI menulis “amati reaksi dan simpulkan”, guru perlu memperjelas: apa yang diamati, bagaimana mencatat data, apa yang dibandingkan, dan bagaimana menyusun kesimpulan. Editing instruksi membuat LKPD lebih mudah digunakan siswa.

4.10.3 Guru sebagai Editor Representasi Kimia

Editing bahan ajar kimia tidak hanya berurusan dengan teks, tetapi juga representasi. Guru harus memeriksa apakah bahan ajar sudah menghubungkan fenomena makroskopik, proses submikroskopik, dan simbolik. Jika AI hanya menghasilkan penjelasan verbal, guru perlu menambahkan representasi partikel, tabel, grafik, atau persamaan. Jika AI menghasilkan simbol tanpa penjelasan, guru perlu menambahkan makna konseptual.

Contoh pada larutan elektrolit:

- Makroskopik: lampu menyala pada alat uji.
- Submikroskopik: ion-ion bergerak bebas dalam larutan.
- Simbolik: $NaCl(s) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$.

Jika bahan ajar hanya menyatakan "NaCl adalah elektrolit kuat" tanpa menjelaskan hubungan ketiga level tersebut, guru perlu mengeditnya. Guru dapat menambahkan pertanyaan: "Apa yang terjadi pada partikel NaCl ketika dilarutkan dalam air?" dan "Mengapa partikel tersebut membuat larutan menghantarkan listrik?"

Pada kesetimbangan, guru perlu memastikan bahwa grafik konsentrasi, reaksi bolak-balik, dan penjelasan partikel saling mendukung. Jika visual atau teks menunjukkan seolah-olah reaksi berhenti, guru harus mengubahnya.

Guru sebagai editor representasi juga harus memeriksa diagram. Diagram partikel, struktur molekul, grafik, dan tabel harus tepat. Visual yang salah perlu dihapus atau diperbaiki. Dalam kimia, visual bukan hiasan; visual adalah bagian dari konsep.

4.10.4 Guru sebagai Validator Konsep Kimia

Peran validator konsep merupakan tanggung jawab akademik utama guru. Guru harus memastikan bahwa setiap bahan ajar yang digunakan benar secara kimia. Validasi mencakup definisi, prinsip, contoh, simbol, rumus, persamaan reaksi, muatan ion, satuan, grafik, dan visual. Guru tidak boleh langsung mempercayai output AI hanya karena bahasanya rapi.

Validasi konsep dapat dilakukan dengan beberapa langkah. Pertama, guru membaca bahan ajar secara kritis. Kedua, guru menandai bagian yang rawan salah. Ketiga, guru mencocokkan dengan buku teks atau literatur yang valid. Keempat, guru memperbaiki bagian yang tidak tepat. Kelima, guru meminta masukan sejawat jika bahan akan digunakan secara luas.

Dalam kimia, beberapa bagian harus selalu diperiksa ulang. Persamaan reaksi harus disetarakan. Muatan ion harus benar. Satuan dalam perhitungan harus konsisten. Penggunaan istilah harus tepat. Grafik harus sesuai data. Diagram harus menggambarkan konsep yang benar. Jika ada praktikum, prosedur harus aman.

Validasi juga harus memperhatikan miskonsepsi. Bahan ajar yang benar secara umum tetapi tidak mengantisipasi miskonsepsi dapat tetap bermasalah. Misalnya, menjelaskan bahwa "katalis mempercepat reaksi" benar, tetapi dalam konteks kesetimbangan perlu ditambahkan bahwa katalis mempercepat tercapainya kesetimbangan tanpa mengubah nilai K atau komposisi setimbang. Guru perlu menambahkan klarifikasi semacam ini.

4.10.5 Guru sebagai Validator Keselamatan Praktikum

Dalam bahan ajar kimia yang memuat praktikum, guru harus menjadi validator keselamatan. AI dapat membantu menyusun prosedur, tetapi tidak memiliki pengetahuan langsung tentang kondisi laboratorium, alat yang tersedia, konsentrasi bahan, ventilasi, kemampuan siswa, atau kebijakan sekolah. Karena itu, semua prosedur praktikum dari AI harus diperiksa oleh guru atau laboran.

Validasi keselamatan mencakup alat-bahan, konsentrasi larutan, risiko reaksi, sumber panas, listrik, gas, tekanan, limbah, dan alat pelindung diri. Guru harus memastikan bahwa praktikum sesuai jenjang. Untuk siswa sekolah, prosedur harus menggunakan bahan yang aman, konsentrasi rendah, dan pengawasan jelas. Jika praktikum melibatkan listrik, seperti uji elektrolit, sumber listrik harus aman, misalnya baterai tegangan rendah, bukan listrik PLN. Jika melibatkan larutan asam-basa, konsentrasi harus sesuai dan prosedur tumpahan harus dijelaskan.

Guru juga perlu mengedit bagian K3 agar spesifik. Kalimat "hati-hati saat praktikum" tidak cukup. K3 harus menyebut tindakan konkret: gunakan kacamata jika tersedia, jangan mencicipi bahan, gunakan tangan kering saat merangkai alat listrik, bersihkan tumpahan sesuai arahan guru, dan buang limbah sesuai prosedur.

Guru sebagai validator keselamatan juga harus menentukan apakah aktivitas layak dilakukan. Jika risiko lebih besar daripada manfaat pembelajaran, aktivitas harus diganti dengan simulasi, demonstrasi guru, video, atau data latihan. Keselamatan selalu lebih penting daripada efek visual praktikum.

4.10.6 Guru sebagai Validator Asesmen

AI dapat membantu membuat soal, rubrik, dan umpan balik, tetapi guru harus memvalidasinya. Validasi asesmen meliputi kesesuaian dengan indikator, kejelasan soal, kebenaran kunci, kualitas distraktor, tingkat kesulitan, keadilan bahasa, dan kesesuaian rubrik. Soal yang dibuat AI dapat terlihat baik tetapi tidak selalu mengukur tujuan yang diinginkan.

Misalnya, jika tujuan pembelajaran adalah siswa mampu menjelaskan peran ion dalam daya hantar listrik, maka soal yang hanya menanyakan definisi elektrolit belum cukup. Guru perlu mengedit soal agar siswa menafsirkan data uji elektrolit dan menjelaskan partikel dalam larutan. Jika tujuan adalah argumentasi ilmiah, rubrik harus menilai klaim, bukti, dan alasan, bukan hanya benar-salah jawaban.

Kunci jawaban juga harus diperiksa. Pada soal perhitungan, guru harus menghitung ulang. Pada soal pilihan ganda, guru harus memastikan hanya ada satu jawaban benar. Distraktor harus bermakna dan tidak ambigu. Pada soal uraian, rubrik harus jelas dan operasional.

Umpan balik juga perlu divalidasi. Umpan balik yang baik harus spesifik, benar secara konsep, dan membantu siswa memperbaiki pemahaman. AI dapat menghasilkan umpan balik umum seperti "pelajari kembali materi ini". Guru perlu mengubahnya menjadi umpan balik yang lebih berguna: "Perhatikan bahwa larutan elektrolit menghantarkan listrik karena ada ion bebas. Coba jelaskan perbedaan partikel dalam larutan NaCl dan larutan gula."

4.10.7 Guru sebagai Kurator Sumber dan Referensi

Bahan ajar AI sering memerlukan referensi. Guru harus menjadi kurator sumber. Sumber yang digunakan harus valid, relevan, dan sesuai tujuan. Untuk konsep kimia, guru dapat menggunakan buku teks kimia umum, buku kimia sekolah yang kredibel, jurnal pendidikan kimia, dan sumber

institusional. Untuk pedagogi, guru dapat menggunakan literatur pendidikan sains, asesmen, multimedia learning, dan miskonsepsi kimia.

Guru tidak boleh menerima daftar pustaka AI tanpa verifikasi. AI dapat membuat referensi yang tidak ada atau DOI yang salah. Setiap referensi harus diperiksa. Jika bahan ajar akan digunakan untuk publikasi atau buku, verifikasi referensi menjadi lebih penting.

Guru juga perlu memilih sumber sesuai kebutuhan. Untuk materi siswa SMA, tidak semua artikel riset cocok langsung digunakan. Guru dapat menggunakan riset sebagai dasar, lalu menyederhanakan untuk siswa. Untuk bahan pengayaan, sumber populer ilmiah dapat digunakan sebagai bacaan, tetapi klaim utama tetap perlu didukung sumber yang kuat.

Kurasi sumber juga mencakup sumber gambar. Guru perlu memperhatikan hak cipta, lisensi, dan atribusi. Jika menggunakan gambar AI, guru harus menyebut penggunaannya sesuai kebijakan yang berlaku dan memvalidasi akurasinya.

4.10.8 Guru sebagai Perancang Prompt yang Bertanggung Jawab

Guru tidak hanya mengedit output AI, tetapi juga merancang prompt. Prompt yang baik mencerminkan kejelasan tujuan, pemahaman konsep, dan kepekaan pedagogis. Guru perlu memberi AI konteks yang cukup: topik, jenjang, tujuan, prasyarat, miskonsepsi, bentuk produk, format, durasi, dan batasan keselamatan.

Prompt yang lemah akan menghasilkan output yang lemah. Misalnya, “buatkan LKPD asam-basa” terlalu umum. Prompt yang lebih bertanggung jawab adalah:

“Buat LKPD inkuiri terbimbing tentang identifikasi larutan asam dan basa menggunakan indikator alami untuk siswa SMA kelas XI. LKPD harus memuat tujuan, fenomena pemantik, prediksi, alat-bahan aman, K3, prosedur, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, konsep indikator, kesimpulan berbasis data, refleksi, dan asesmen formatif. Hindari prosedur yang mencampur bahan pembersih berbahaya.”

Prompt semacam ini menunjukkan bahwa guru memahami tujuan, aktivitas, keselamatan, dan konsep. Dengan demikian, prompt engineering bukan keterampilan teknis semata, tetapi bagian dari kompetensi pedagogis guru.

Guru juga perlu menggunakan prompt revisi. Jika output AI belum sesuai, guru harus memberi instruksi perbaikan yang spesifik. Misalnya: “tambahkan representasi partikel”, “sederhanakan bahasa untuk kelas X”, “perbaiki miskonsepsi tentang katalis”, atau “buat pertanyaan lebih berbasis data”.

4.10.9 Guru sebagai Pengendali Etika Penggunaan AI

Penggunaan AI dalam pengembangan bahan ajar juga memiliki dimensi etika. Guru perlu transparan dalam penggunaan AI sesuai kebijakan lembaga. Guru harus memastikan bahwa

penggunaan AI tidak melanggar hak cipta, tidak menyebarkan informasi salah, tidak menggunakan data pribadi siswa tanpa perlindungan, dan tidak mendorong plagiarisme.

Jika guru menggunakan AI untuk menganalisis data belajar siswa, data harus dianonimkan. Nama, nomor induk, atau informasi pribadi tidak perlu dimasukkan. Jika siswa diminta menggunakan AI dalam tugas, guru perlu memberi aturan yang jelas: bagian mana yang boleh dibantu AI, bagian mana yang harus dikerjakan sendiri, bagaimana mencatat penggunaan AI, dan bagaimana memverifikasi output AI.

Dalam bahan ajar kimia, etika juga berkaitan dengan data praktikum. Guru harus menegaskan bahwa AI tidak boleh digunakan untuk membuat data palsu. Data praktikum harus berasal dari pengamatan. AI dapat membantu memahami konsep atau memperbaiki bahasa laporan, tetapi tidak boleh menggantikan observasi dan analisis ilmiah siswa.

Guru sebagai pengendali etika harus membangun budaya penggunaan AI yang jujur, kritis, dan bertanggung jawab.

4.10.10 Guru sebagai Desainer Pembelajaran yang Humanis

AI dapat membantu membuat bahan ajar, tetapi AI tidak mengenal siswa secara utuh. Guru memahami konteks emosional, sosial, dan kultural kelas. Guru mengetahui siswa mana yang membutuhkan dukungan, siswa mana yang perlu tantangan, dan siswa mana yang kurang percaya diri. Karena itu, guru tetap menjadi desainer pembelajaran yang humanis.

Bahan ajar yang dihasilkan AI mungkin benar secara konsep, tetapi belum tentu sesuai dengan suasana kelas. Guru perlu menyesuaikan contoh, bahasa, dan aktivitas agar dekat dengan siswa. Guru juga perlu memastikan bahwa bahan ajar tidak hanya menuntut kognisi, tetapi juga membangun rasa ingin tahu, keberanian bertanya, kerja sama, dan tanggung jawab.

Dalam pembelajaran kimia, aspek humanis sangat penting. Siswa sering merasa kimia sulit. Bahan ajar yang terlalu teknis dapat membuat siswa semakin jauh. Guru perlu mengedit bahan ajar agar mendukung, bertahap, dan memberi ruang bagi kesalahan sebagai bagian dari belajar. AI dapat membantu membuat variasi penjelasan, tetapi guru yang memahami kapan siswa perlu didorong, ditenangkan, atau diberi tantangan.

4.10.11 Guru sebagai Penghubung AI dengan Kurikulum

AI tidak selalu mengetahui kurikulum yang sedang digunakan, capaian pembelajaran, alokasi waktu, atau kebijakan sekolah. Guru harus menghubungkan output AI dengan kurikulum. Bahan ajar harus sesuai dengan capaian pembelajaran, tujuan, fase atau kelas, kedalaman materi, dan asesmen yang diharapkan.

Misalnya, AI dapat membuat bahan ajar elektrokimia yang terlalu mendalam untuk SMA, termasuk detail termodinamika atau mekanisme baterai modern. Guru perlu memangkas dan menyesuaikan agar sesuai kurikulum. Sebaliknya, AI dapat membuat materi terlalu dangkal untuk mahasiswa calon guru. Guru perlu meminta pendalaman konsep dan dimensi pedagogis.

Guru juga perlu memastikan kesinambungan antar topik. Kurikulum kimia memiliki urutan tertentu. Jika bahan ajar AI disusun tanpa memperhatikan urutan ini, siswa dapat menerima konsep lanjutan sebelum prasyarat. Guru sebagai penghubung kurikulum memastikan bahan ajar berada pada tempat yang tepat dalam keseluruhan pembelajaran.

4.10.12 Guru sebagai Penjamin Koherensi Bahan Ajar

Dalam buku ajar atau modul panjang, koherensi sangat penting. AI dapat menghasilkan bagian-bagian yang tampak baik secara terpisah, tetapi tidak selalu konsisten sebagai satu kesatuan. Guru perlu memastikan istilah, gaya bahasa, kedalaman, contoh, simbol, dan format konsisten dari awal sampai akhir.

Misalnya, jika satu bagian menggunakan istilah "ionisasi" untuk asam lemah, bagian lain tidak boleh menggunakan istilah yang membingungkan seperti "disosiasi total" untuk kasus yang sama. Jika satu bab menyebut "kesetimbangan dinamis", bab berikutnya tentang buffer harus tetap menggunakan konsep tersebut secara konsisten. Jika satu bagian menggunakan format latihan tertentu, bagian lain sebaiknya tidak berubah tanpa alasan.

Koherensi juga mencakup keselarasan antara tujuan, materi, aktivitas, dan asesmen. Jika tujuan menuntut analisis data, bahan ajar harus memuat data dan asesmen harus menilai analisis data. Jika tujuan menuntut keterampilan praktikum, bahan ajar harus memuat prosedur, K3, dan rubrik praktik. Guru perlu memastikan semua bagian saling mendukung.

4.10.13 Guru sebagai Pengembang Literasi AI Siswa

Guru yang menggunakan AI dalam bahan ajar juga dapat mengembangkan literasi AI siswa. Siswa perlu belajar bahwa AI dapat membantu, tetapi harus diverifikasi. Dalam pembelajaran kimia, guru dapat memberi aktivitas mengevaluasi output AI. Misalnya, siswa diminta menilai jawaban AI tentang elektrolit yang mengandung kesalahan konsep. Mereka harus menemukan kesalahan, menjelaskan konsep benar, dan menulis revisi.

Aktivitas seperti ini mengajarkan dua hal sekaligus: konsep kimia dan literasi AI. Siswa belajar bahwa jawaban yang terdengar meyakinkan tidak selalu benar. Mereka belajar menggunakan pengetahuan kimia untuk mengkritisi teknologi.

Guru dapat memasukkan bagian "Cek Jawaban AI" dalam bahan ajar. Misalnya:

"AI menulis: 'Pada keadaan setimbang, reaksi berhenti karena jumlah reaktan dan produk sama.' Apakah pernyataan ini benar? Jelaskan."

Dengan cara ini, guru tidak hanya menggunakan AI untuk membuat bahan ajar, tetapi juga menjadikan AI sebagai objek pembelajaran kritis.

4.10.14 Guru sebagai Fasilitator Kolaborasi Manusia-AI

Penggunaan AI yang baik bukan mengganti kerja manusia, tetapi membangun kolaborasi manusia-AI. Guru dapat menggunakan AI untuk menghasilkan ide awal, lalu siswa dan guru mengevaluasi, memperbaiki, dan mengembangkan. Dalam kelas kimia, kolaborasi ini dapat diterapkan dalam proyek bahan ajar, infografik, rangkuman, atau LKPD.

Misalnya, siswa menggunakan AI untuk membuat rangkuman awal tentang larutan penyangga. Setelah itu, mereka membandingkan dengan buku teks, memperbaiki kesalahan, menambahkan contoh, dan menulis refleksi. Guru menilai bukan hanya produk akhir, tetapi juga proses verifikasi. Dengan demikian, AI menjadi alat untuk memperkuat berpikir kritis.

Guru sebagai fasilitator perlu memberi aturan. Siswa harus mencatat prompt, output, bagian yang digunakan, bagian yang direvisi, dan sumber verifikasi. Kolaborasi manusia-AI harus transparan. Ini penting untuk integritas akademik.

4.10.15 Kompetensi Guru dalam Mengelola Bahan Ajar AI

Agar mampu menjadi kurator, editor, dan validator, guru membutuhkan beberapa kompetensi. Pertama, **kompetensi kimia**, yaitu pemahaman konsep yang kuat. Tanpa ini, guru sulit memvalidasi output AI. Kedua, **kompetensi pedagogical content knowledge**, yaitu kemampuan menyajikan konsep kimia sesuai cara berpikir siswa. Ketiga, **kompetensi asesmen**, yaitu kemampuan menyusun dan menilai soal, rubrik, serta umpan balik. Keempat, **kompetensi keselamatan laboratorium**, terutama jika bahan ajar memuat praktikum.

Kelima, **kompetensi literasi AI**, yaitu kemampuan menyusun prompt, membaca output, mendeteksi kelemahan, memperbaiki instruksi, dan menggunakan AI secara etis. Keenam, **kompetensi literasi data dan sumber**, yaitu kemampuan memverifikasi referensi, data, dan klaim. Ketujuh, **kompetensi desain visual**, terutama jika guru menggunakan AI untuk media visual. Kedelapan, **kompetensi reflektif**, yaitu kemampuan mengevaluasi hasil penggunaan AI dan memperbaiki praktik pembelajaran.

Kompetensi-kompetensi ini menunjukkan bahwa penggunaan AI tidak membuat guru menjadi kurang penting. Sebaliknya, AI menuntut guru memiliki kompetensi profesional yang lebih tinggi.

4.10.16 Model Kerja Guru dalam Mengelola Bahan Ajar AI

Model kerja yang dapat digunakan guru adalah siklus **Rancang–Hasilkan–Kurasi–Edit–Validasi–Implementasi–Refleksi**.

1. **Rancang**
   Guru menentukan tujuan, topik, jenjang, konteks, dan format bahan ajar.
2. **Hasilkan**
   Guru menggunakan AI untuk membuat draf awal berdasarkan prompt yang jelas.
3. **Kurasi**
   Guru memilih bagian yang relevan dan membuang bagian yang tidak sesuai.

4. **Edit**
   Guru memperbaiki bahasa, struktur, representasi, aktivitas, dan asesmen.
5. **Validasi**
   Guru memeriksa akurasi konsep, keselamatan, referensi, visual, soal, dan klaim.
6. **Implementasi**
   Guru menggunakan bahan ajar di kelas secara terbatas atau penuh.
7. **Refleksi**
   Guru mengevaluasi respons siswa, memperbaiki bahan, dan menyimpan versi final.

Siklus ini membantu guru menggunakan AI secara sistematis dan bertanggung jawab.

4.10.17 Dokumentasi Peran Guru dalam Bahan Ajar AI

Guru perlu mendokumentasikan proses penggunaan AI, terutama jika bahan ajar digunakan untuk publikasi, penelitian, portofolio, atau tugas akademik. Dokumentasi dapat mencakup:

1. Prompt yang digunakan.
2. Output awal AI.
3. Bagian yang dipilih.
4. Bagian yang dihapus.
5. Revisi konsep.
6. Revisi bahasa.
7. Validasi sumber.
8. Validasi keselamatan.
9. Uji keterbacaan siswa.
10. Refleksi guru.

Dokumentasi ini menunjukkan integritas dan tanggung jawab. Guru tidak hanya mengambil hasil AI, tetapi melakukan proses profesional. Bagi calon guru, dokumentasi semacam ini dapat menjadi bukti pengembangan kompetensi.

Format dokumentasi sederhana:

Tahap	Kegiatan Guru	Bukti
Prompt	Menulis instruksi AI	Teks prompt
Kurasi	Memilih bagian relevan	Catatan seleksi
Editing	Memperbaiki bahasa dan struktur	Versi revisi
Validasi	Memeriksa konsep dan keselamatan	Lembar validasi
Implementasi	Menggunakan di kelas	Catatan kelas
Refleksi	Mengevaluasi hasil	Catatan refleksi

4.10.18 Tantangan Peran Guru dalam Era AI

Peran guru sebagai kurator, editor, dan validator menghadapi beberapa tantangan. Pertama, guru membutuhkan waktu untuk memeriksa output AI. Walaupun AI mempercepat penulisan draf, validasi tetap memerlukan perhatian serius. Kedua, guru perlu meningkatkan literasi AI. Guru

yang belum terbiasa dapat menggunakan AI secara terlalu sederhana atau terlalu percaya pada outputnya.

Ketiga, guru perlu menghadapi banjir informasi. AI dapat menghasilkan banyak materi, tetapi tidak semuanya berkualitas. Keempat, guru perlu menjaga integritas akademik. Penggunaan AI harus transparan dan tidak melanggar hak cipta atau etika. Kelima, guru perlu mengelola ekspektasi siswa. Siswa mungkin menganggap AI selalu benar atau dapat menggantikan belajar. Guru harus meluruskan pandangan ini.

Keenam, guru perlu mengatasi kesenjangan akses. Tidak semua siswa memiliki akses AI yang sama. Jika tugas menggunakan AI, guru harus menyediakan alternatif. Ketujuh, guru perlu menjaga keseimbangan antara teknologi dan interaksi manusia. Pembelajaran kimia tetap membutuhkan diskusi, eksperimen, bimbingan, dan hubungan pedagogis.

Tantangan ini menunjukkan bahwa AI bukan solusi otomatis. AI adalah alat yang kuat, tetapi memerlukan kepemimpinan guru.

4.10.19 Implikasi bagi Pendidikan Calon Guru Kimia

Pendidikan calon guru kimia perlu memasukkan kompetensi kurasi, editing, dan validasi bahan ajar AI. Mahasiswa calon guru tidak cukup diajari membuat prompt. Mereka perlu dilatih membaca output AI secara kritis, menemukan kesalahan konsep, memperbaiki bahan, memvalidasi referensi, menyusun rubrik, dan mendokumentasikan proses.

Tugas yang dapat diberikan:

“Buat bahan ajar kimia berbantuan AI pada satu topik SMA. Setelah itu, lakukan kurasi, editing, dan validasi. Lampirkan prompt, output awal, catatan kurasi, versi revisi, lembar validasi konsep, lembar validasi keselamatan jika ada praktikum, dan refleksi profesional.”

Tugas lain:

“Diberikan bahan ajar kimia buatan AI yang memuat beberapa kesalahan konsep. Identifikasi kesalahan, jelaskan konsep benar, revisi bahan ajar, dan tuliskan strategi agar kesalahan serupa tidak terjadi.”

Latihan seperti ini akan membentuk calon guru yang tidak hanya mampu menggunakan AI, tetapi juga mampu mengendalikan kualitasnya.

4.10.20 Prinsip Profesional Guru dalam Menggunakan Bahan Ajar AI

Beberapa prinsip profesional perlu ditegaskan. Pertama, guru tidak boleh menggunakan output AI mentah sebagai bahan ajar final. Kedua, guru harus memvalidasi konsep kimia. Ketiga, guru harus menyesuaikan bahan ajar dengan siswa dan kurikulum. Keempat, guru harus memeriksa keselamatan praktikum. Kelima, guru harus memverifikasi sumber dan referensi. Keenam, guru

harus menjaga etika dan privasi data. Ketujuh, guru harus menggunakan AI untuk memperkuat, bukan menggantikan, proses belajar.

Prinsip kedelapan, guru harus mendorong siswa berpikir kritis terhadap AI. Prinsip kesembilan, guru harus mendokumentasikan penggunaan AI jika diperlukan. Prinsip kesepuluh, guru harus terus merefleksikan praktiknya. Dengan prinsip-prinsip ini, AI dapat menjadi mitra yang produktif dalam pengembangan bahan ajar kimia.

Dengan demikian, peran guru sebagai kurator, editor, dan validator bahan ajar AI merupakan fondasi utama penggunaan AI yang bertanggung jawab dalam pembelajaran kimia. AI dapat mempercepat penyusunan bahan ajar, memperkaya variasi aktivitas, dan membantu membuat media, rangkuman, soal, LKPD, serta bahan pengayaan. Namun, guru tetap menjadi penentu kualitas akhir. Guru memilih, menyunting, memvalidasi, menyesuaikan, dan mengimplementasikan bahan ajar berdasarkan keahlian kimia, pedagogi, keselamatan, dan etika. Dalam era AI, guru bukan tergantikan, melainkan semakin penting sebagai penjaga mutu pembelajaran.

Simpulan Bab 4

Bab 4 telah membahas peran AI dalam pengembangan bahan ajar kimia, mulai dari perencanaan, penyusunan buku ajar dan modul, pengembangan handout dan bahan pengayaan, penyusunan LKPD, pembuatan media visual, peta konsep, glosarium, rangkuman, remedial, bahan ajar kontekstual, validasi akurasi konsep, hingga peran guru sebagai kurator, editor, dan validator. Pembahasan ini menegaskan bahwa AI dapat menjadi alat bantu yang sangat produktif, tetapi kualitas bahan ajar tetap bergantung pada keahlian guru.

Pada tahap perencanaan, AI dapat membantu guru menganalisis kebutuhan, merumuskan tujuan, menyusun urutan materi, memetakan prasyarat, mengidentifikasi miskonsepsi, memilih bentuk bahan ajar, dan merancang asesmen. Namun, perencanaan bahan ajar kimia harus tetap didasarkan pada struktur konsep, kurikulum, karakter siswa, dan konteks kelas. AI dapat memberi alternatif, tetapi guru yang menentukan arah.

Dalam penyusunan buku ajar dan modul, AI dapat membantu membuat kerangka, uraian materi, contoh soal, latihan, asesmen, rangkuman, remedial, dan pengayaan. Akan tetapi, buku ajar dan modul kimia harus memiliki koherensi konseptual, keterbacaan, akurasi ilmiah, representasi makro-submikro-simbolik, dan validasi sumber. Output AI harus diperlakukan sebagai draf awal yang memerlukan penyuntingan dan validasi.

Dalam pengembangan handout dan bahan pengayaan, AI dapat membantu membuat materi ringkas, tabel perbandingan, bahan kontekstual, studi kasus, proyek mini, dan aktivitas literasi sains. Handout berguna untuk menegaskan konsep inti, sedangkan pengayaan berguna untuk memperluas pemahaman siswa. Namun, keduanya harus tetap sesuai jenjang, tidak terlalu luas, dan tidak memuat klaim yang tidak terverifikasi.

Dalam penyusunan LKPD, AI dapat membantu membuat lembar aktivitas berbasis inkuiri, praktikum, simulasi, masalah, proyek, STEM, argumentasi ilmiah, dan literasi sains. LKPD kimia yang baik harus mengaktifkan siswa melalui prediksi, observasi, analisis data, representasi partikel, kesimpulan berbasis bukti, dan refleksi. Jika LKPD memuat praktikum, keselamatan harus menjadi prioritas utama.

Dalam pembuatan infografik, slide, dan media visual, AI dapat membantu merancang struktur visual, teks ringkas, diagram, storyboard animasi, tabel, grafik, dan rubrik. Namun, visual kimia harus divalidasi secara ketat karena gambar yang salah dapat memperkuat miskonsepsi. Media visual harus berfungsi pedagogis, bukan sekadar dekoratif.

Pada bagian peta konsep dan glosarium, bab ini menegaskan bahwa AI dapat membantu menyusun struktur hubungan antarkonsep dan definisi istilah. Peta konsep membantu siswa melihat jaringan pengetahuan, sedangkan glosarium membantu siswa memahami bahasa kimia. Keduanya harus memuat relasi yang benar, definisi yang akurat, contoh yang tepat, dan catatan miskonsepsi jika diperlukan.

Pada bagian rangkuman dan remedial, AI dapat membantu membuat ringkasan naratif, poin inti, tabel, peta konsep, rangkuman visual, serta materi remedial berbasis miskonsepsi, prasyarat, prosedur, representasi, dan data asesmen. Namun, remedial harus berbasis diagnosis, bukan sekadar pengulangan materi. Rangkuman harus menegaskan struktur konsep, bukan hanya memendekkan teks.

Pada bagian bahan ajar kontekstual, AI dapat membantu menghubungkan kimia dengan kehidupan sehari-hari, lingkungan, teknologi, industri, pangan, kesehatan, konteks lokal, isu sosiosaintifik, literasi data, dan proyek. Bahan ajar kontekstual membuat kimia lebih bermakna, tetapi guru harus memastikan bahwa konteks benar-benar mendukung konsep, tidak menjadi hiasan, dan tidak memuat klaim berlebihan.

Pada bagian validasi akurasi konsep, bab ini menegaskan bahwa validasi merupakan tahap wajib. AI dapat menghasilkan bahan ajar yang tampak meyakinkan tetapi salah secara konsep. Guru harus memeriksa istilah, definisi, simbol, persamaan reaksi, visual, soal, kunci, praktikum, klaim kontekstual, dan referensi. Validasi harus dilakukan dengan sumber valid, instrumen yang jelas, dan bila perlu melibatkan sejawat atau ahli.

Akhirnya, bab ini menegaskan peran guru sebagai kurator, editor, dan validator. Guru memilih output AI yang relevan, memperbaiki bahasa dan struktur, memvalidasi konsep dan keselamatan, menyesuaikan dengan kurikulum dan siswa, serta mengendalikan etika penggunaan AI. Dalam era AI, guru tidak tergantikan. Justru guru semakin penting sebagai penjaga kualitas, makna, dan tanggung jawab pembelajaran kimia.

Kesimpulan utama Bab 4 adalah bahwa AI dapat mempercepat dan memperkaya pengembangan bahan ajar kimia, tetapi tidak dapat menggantikan keahlian guru. Bahan ajar kimia berbantuan AI yang baik harus akurat secara ilmiah, selaras secara pedagogis, aman secara praktikum, kontekstual secara bermakna, dan tervalidasi secara profesional. AI adalah alat bantu yang kuat; guru adalah penentu mutu akhirnya.

Daftar Pustaka Bab 4

Ausubel, D. P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Kluwer Academic Publishers.

Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for quality learning at university* (4th ed.). Open University Press.

Bretz, S. L. (2001). Novak's theory of education: Human constructivism and meaningful learning. *Journal of Chemical Education, 78*(8), 1107–1116. https://doi.org/10.1021/ed078p1107.6

Chiu, M.-H., & Wu, H.-K. (2009). The roles of multimedia in the teaching and learning of the triplet relationship in chemistry. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education* (pp. 251–283). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_12

Cooper, M. M., & Stowe, R. L. (2018). Chemistry education research—From personal empiricism to evidence, theory, and informed practice. *Chemical Reviews, 118*(12), 6053–6087. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00020

De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science, 340*(6130), 305–308. https://doi.org/10.1126/science.1230579

Eilks, I., & Hofstein, A. (Eds.). (2015). *Relevant chemistry education: From theory to practice*. Sense Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-175-5

Gilbert, J. K. (2006). On the nature of "context" in chemical education. *International Journal of Science Education, 28*(9), 957–976. https://doi.org/10.1080/09500690600702470

Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (Eds.). (2009). *Multiple representations in chemical education*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8

Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research, 77*(1), 81–112. https://doi.org/10.3102/003465430298487

Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning, 7*(2), 75–83. https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x

Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education, 70*(9), 701–705. https://doi.org/10.1021/ed070p701

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., Stadler, M., Weller, J., Kuhn, J., &

Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences, 103*, 102274. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274

Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.

Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2008). *The theory underlying concept maps and how to construct and use them*. Florida Institute for Human and Machine Cognition.

Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist, 38*(1), 1–4. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1

Taber, K. S. (2002). *Chemical misconceptions: Prevention, diagnosis and cure*. Royal Society of Chemistry.

Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education, 33*(2), 179–195. https://doi.org/10.1080/09500690903386435

Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education, 25*(11), 1353–1368. https://doi.org/10.1080/0950069032000070306

UNESCO. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO.

UNESCO. (2024). *AI competency framework for teachers*. UNESCO.

Wiggins, G., & McTighe, J. (2005). *Understanding by design* (Expanded 2nd ed.). ASCD.

BAB 5

AI untuk Visualisasi dan Representasi Konsep Kimia

5.1 Urgensi Visualisasi dalam Pembelajaran Kimia

Visualisasi merupakan salah satu kebutuhan paling mendasar dalam pembelajaran kimia karena kimia mempelajari materi pada tingkat yang tidak selalu dapat diamati secara langsung. Banyak konsep kimia tidak hadir di depan mata peserta didik dalam bentuk yang kasatmata. Atom, ion, molekul, elektron, orbital, ikatan kimia, gaya antarmolekul, mekanisme reaksi, struktur molekul, perubahan energi, dan interaksi partikel merupakan entitas atau proses yang membutuhkan representasi visual agar dapat dipahami secara bermakna. Tanpa visualisasi yang tepat, peserta didik cenderung menghafal istilah, rumus, dan persamaan tanpa benar-benar memahami apa yang terjadi pada tingkat partikel.

Kimia sering disebut sebagai ilmu yang bekerja pada tiga level representasi: makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Level makroskopik berkaitan dengan fenomena yang dapat diamati, seperti perubahan warna, terbentuknya endapan, nyala api, gelembung gas, perubahan suhu, larutan menghantarkan listrik, atau perubahan wujud. Level submikroskopik berkaitan dengan penjelasan pada tingkat atom, molekul, ion, elektron, dan partikel. Level simbolik berkaitan dengan rumus kimia, persamaan reaksi, struktur Lewis, diagram orbital, grafik, tabel, model matematis, dan notasi ilmiah. Kesulitan belajar kimia sering muncul karena peserta didik tidak mampu menghubungkan ketiga level ini secara utuh.

AI memiliki potensi besar untuk membantu visualisasi konsep kimia. Dengan AI, guru dapat membuat deskripsi visual, diagram konseptual, analogi visual, storyboard animasi, model partikel, gambar struktur, slide interaktif, peta konsep, infografik, simulasi sederhana, dan narasi representasional. AI juga dapat membantu menjelaskan ulang konsep abstrak dengan berbagai bentuk representasi sesuai kebutuhan peserta didik. Namun, penggunaan AI untuk visualisasi kimia harus dilakukan secara hati-hati. Visual yang menarik belum tentu benar secara kimia. Gambar molekul yang indah tetapi salah struktur, diagram orbital yang keliru, visual elektrolit yang menampilkan elektron bebas dalam larutan, atau model kesetimbangan yang menggambarkan reaksi berhenti dapat memperkuat miskonsepsi.

Oleh karena itu, urgensi visualisasi dalam pembelajaran kimia tidak hanya terletak pada kemampuan membuat gambar atau media yang menarik, tetapi pada kemampuan menyusun representasi yang akurat, pedagogis, dan tervalidasi. Visualisasi harus membantu siswa membangun model mental yang benar. Visualisasi juga harus menjembatani fenomena nyata, struktur partikel, dan simbol kimia. Dalam konteks AI, guru tetap berperan sebagai pengarah, kurator, editor, dan validator visual. AI dapat membantu menghasilkan rancangan visual, tetapi guru kimia harus memastikan bahwa visual tersebut benar secara konsep, sesuai jenjang, dan tidak menimbulkan kesalahan pemahaman.

5.1.1 Kimia sebagai Ilmu Multirepresentasional

Kimia tidak dapat dipahami hanya melalui satu bentuk representasi. Siswa perlu belajar menghubungkan apa yang mereka lihat, apa yang terjadi pada tingkat partikel, dan bagaimana proses itu ditulis secara simbolik. Misalnya, ketika larutan perak nitrat dicampur dengan larutan natrium klorida, siswa melihat terbentuknya endapan putih. Pada level submikroskopik, ion Ag^+ dan Cl^- bergabung membentuk padatan AgCl. Pada level simbolik, proses tersebut ditulis sebagai persamaan ion bersih:

$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$

Jika siswa hanya melihat endapan putih tanpa memahami interaksi ion, mereka hanya memahami fenomena permukaan. Jika siswa hanya menulis persamaan reaksi tanpa menghubungkannya dengan endapan, mereka hanya memanipulasi simbol. Jika siswa hanya melihat gambar partikel tanpa memahami rumus dan data, pemahamannya juga belum lengkap. Pembelajaran kimia yang baik harus mengintegrasikan ketiganya.

AI dapat membantu guru merancang bahan visual yang menghubungkan tiga level representasi tersebut. Guru dapat meminta AI menyusun skenario visual yang memuat fenomena, penjelasan partikel, dan simbol. Misalnya:

“Buat rancangan visual tiga level representasi untuk reaksi pengendapan $AgNO_3$ dan NaCl. Visual harus menampilkan pengamatan makroskopik berupa endapan putih, penjelasan submikroskopik berupa ion Ag^+ dan Cl^- yang membentuk AgCl padat, serta persamaan molekul, persamaan ion lengkap, dan persamaan ion bersih.”

Prompt semacam ini membantu AI menghasilkan struktur visual yang lebih bermakna. Namun, guru tetap harus memeriksa apakah rumus, muatan ion, fase, dan persamaan reaksi benar. Kesalahan pada representasi simbolik dapat merusak keseluruhan pemahaman.

Kemampuan berpindah antarrepresentasi merupakan salah satu indikator penting dalam literasi kimia. Siswa yang memahami kimia tidak hanya mampu menghafal definisi, tetapi mampu menjelaskan fenomena dengan model partikel dan menuliskannya dalam simbol kimia. Oleh sebab itu, visualisasi dalam kimia harus diposisikan sebagai inti pembelajaran, bukan sekadar pelengkap estetis.

5.1.2 Visualisasi sebagai Jembatan antara Abstraksi dan Pemahaman

Banyak konsep kimia bersifat abstrak karena tidak dapat diamati secara langsung. Elektron tidak dapat dilihat siswa secara langsung. Orbital bukan lintasan fisik yang dapat difoto seperti jalur planet. Ikatan kimia bukan batang nyata yang menghubungkan atom. Gaya antarmolekul tidak tampak secara kasatmata. Mekanisme reaksi terjadi pada skala yang sangat kecil dan sangat cepat. Tanpa visualisasi, siswa sering membangun gambaran sendiri yang belum tentu benar.

Visualisasi membantu mengubah konsep abstrak menjadi model yang dapat dipikirkan. Misalnya, struktur Lewis membantu siswa memahami elektron valensi dan pasangan elektron. Model

VSEPR membantu siswa memperkirakan bentuk molekul. Diagram energi membantu siswa memahami energi aktivasi dan peran katalis. Model bola-dan-tongkat membantu siswa melihat konektivitas atom. Model ruang-isi membantu siswa memahami volume dan orientasi molekul. Grafik konsentrasi terhadap waktu membantu siswa memahami kesetimbangan dinamis.

Namun, setiap visualisasi merupakan model. Model menyederhanakan realitas. Guru harus menjelaskan bahwa model tidak identik dengan kenyataan. Misalnya, warna atom dalam model molekul adalah konvensi, bukan warna asli atom. Ikatan dalam model bola-dan-tongkat bukan batang fisik. Orbital bukan jalur melingkar elektron seperti orbit planet. Jika batas model tidak dijelaskan, visualisasi dapat berubah menjadi sumber miskonsepsi.

AI dapat membantu membuat penjelasan batas model. Contoh prompt:

“Jelaskan kepada siswa SMA bahwa model bola-dan-tongkat molekul adalah representasi, bukan bentuk nyata molekul. Jelaskan manfaat model, batas model, dan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Dengan bantuan AI, guru dapat menyusun bagian “catatan model” pada setiap visual. Catatan ini penting agar siswa memahami bahwa visualisasi adalah alat berpikir ilmiah, bukan salinan langsung realitas mikroskopik.

5.1.3 Visualisasi dan Pembentukan Model Mental

Model mental adalah representasi internal yang dibangun siswa untuk memahami suatu konsep atau fenomena. Dalam kimia, model mental sangat menentukan cara siswa menjelaskan reaksi, struktur, sifat zat, dan perubahan materi. Siswa yang memiliki model mental benar tentang ion dalam larutan akan memahami mengapa larutan NaCl menghantarkan listrik, sedangkan larutan gula tidak. Siswa yang memiliki model mental keliru mungkin mengira bahwa gula tidak menghantarkan listrik karena tidak larut, atau bahwa elektron bergerak bebas di dalam air.

Visualisasi berperan langsung dalam pembentukan model mental. Diagram, gambar, animasi, simulasi, dan model molekul memberi bahan bagi siswa untuk membangun gambaran internal. Karena itu, visualisasi yang salah dapat membentuk model mental yang salah. Misalnya, jika visual elektrolit menampilkan elektron bebas bergerak di dalam larutan, siswa dapat menyimpan model mental keliru bahwa elektron adalah pembawa muatan dalam larutan. Padahal, pembawa muatan dalam larutan adalah ion.

AI dapat menghasilkan banyak visual secara cepat, tetapi guru harus menyadari bahwa visual tersebut memengaruhi model mental siswa. Setiap visual perlu diuji dengan pertanyaan:

1. Model mental apa yang akan terbentuk dari visual ini?
2. Apakah model tersebut sesuai dengan konsep kimia?
3. Apakah ada bagian visual yang dapat disalahartikan?
4. Apakah label cukup jelas?
5. Apakah batas model sudah dijelaskan?

Visualisasi yang baik harus mengarahkan siswa membangun model mental yang produktif. Misalnya, pada kesetimbangan kimia, animasi yang baik harus menunjukkan bahwa reaksi maju dan reaksi balik tetap berlangsung. Jika animasi hanya berhenti pada titik setimbang, siswa dapat mengira reaksi benar-benar berhenti. Oleh sebab itu, visualisasi harus menampilkan dinamika proses, bukan hanya keadaan akhir.

5.1.4 Visualisasi untuk Mengurangi Beban Kognitif

Kimia sering dianggap sulit karena siswa harus memproses banyak informasi sekaligus: istilah, simbol, rumus, persamaan, konsep partikel, data, grafik, dan perhitungan. Visualisasi yang baik dapat membantu mengurangi beban kognitif dengan menyusun informasi secara lebih terstruktur. Namun, visualisasi yang buruk justru menambah beban kognitif karena terlalu ramai, tidak relevan, atau membingungkan.

Dalam teori beban kognitif, pembelajaran menjadi lebih efektif jika informasi disajikan dengan cara yang mendukung kerja memori. Gambar, diagram, dan teks harus saling mendukung, bukan saling mengganggu. Misalnya, diagram reaksi harus diberi label yang jelas. Panah harus menunjukkan arah proses yang benar. Warna harus digunakan secara konsisten. Teks dalam slide harus ringkas. Visual tidak boleh dipenuhi dekorasi yang tidak relevan.

AI dapat membantu guru merancang visual yang lebih ringkas. Contoh prompt:

“Rancang infografik satu halaman tentang faktor-faktor yang memengaruhi laju reaksi. Gunakan empat bagian utama: suhu, konsentrasi, luas permukaan, dan katalis. Untuk setiap bagian, tuliskan satu kalimat inti, satu ikon sederhana, dan satu hubungan dengan teori tumbukan. Hindari teks panjang dan dekorasi berlebihan.”

Prompt seperti ini mengarahkan AI agar visual lebih fokus. Guru kemudian memeriksa apakah hasilnya sesuai konsep. Visualisasi yang efektif bukan visual yang paling ramai, tetapi visual yang paling membantu siswa memproses konsep inti.

5.1.5 Visualisasi untuk Menghubungkan Konsep dan Data

Kimia sebagai ilmu empiris sangat bergantung pada data. Siswa perlu belajar membaca tabel, grafik, spektrum, kurva titrasi, diagram energi, data laju reaksi, data pH, data kelarutan, dan hasil praktikum. Visualisasi membantu siswa melihat pola dalam data. Tanpa visualisasi, data sering dipandang sebagai angka terpisah.

AI dapat membantu guru mengubah data menjadi narasi visual atau pertanyaan analitis. Misalnya, guru dapat meminta AI membuat aktivitas berbasis grafik laju reaksi:

“Buat aktivitas visualisasi data untuk materi laju reaksi. Siswa diberi tabel suhu dan waktu reaksi, lalu diminta membuat grafik, mengidentifikasi pola, dan menjelaskan dengan teori tumbukan. Sertakan pertanyaan analisis dan rubrik.”

Visualisasi data membantu siswa membangun hubungan antara angka dan konsep. Misalnya, ketika suhu meningkat dan waktu reaksi menurun, siswa perlu memahami bahwa laju reaksi meningkat karena energi kinetik partikel dan jumlah tumbukan efektif bertambah. Grafik membantu memperlihatkan pola tersebut.

Pada materi kesetimbangan, grafik konsentrasi terhadap waktu membantu siswa memahami bahwa konsentrasi menjadi konstan saat setimbang. Namun, guru harus menegaskan bahwa konsentrasi konstan tidak berarti reaksi berhenti. Visualisasi data harus selalu disertai interpretasi konsep.

5.1.6 Visualisasi untuk Mencegah dan Mengatasi Miskonsepsi

Visualisasi dapat menjadi alat yang kuat untuk mencegah miskonsepsi. Banyak miskonsepsi kimia muncul karena siswa tidak memiliki gambaran partikel yang tepat. Misalnya, siswa mengira bahwa zat yang larut selalu terurai menjadi ion. Visualisasi dapat menunjukkan perbedaan antara NaCl yang terdisosiasi menjadi ion dan gula yang tetap sebagai molekul netral. Siswa mengira bahwa asam lemah tidak menghasilkan ion sama sekali. Visualisasi dapat menunjukkan bahwa asam lemah terionisasi sebagian. Siswa mengira bahwa air mendidih memutus ikatan O–H. Visualisasi dapat menunjukkan bahwa molekul H_2O tetap utuh, tetapi jarak antarmolekul meningkat.

AI dapat membantu membuat visual “konsep salah vs konsep benar”. Contoh prompt:

“Buat rancangan visual dua panel untuk meluruskan miskonsepsi bahwa air mendidih memutus ikatan kovalen O–H. Panel kiri menampilkan konsep salah dan diberi tanda peringatan. Panel kanan menampilkan konsep benar: molekul H_2O tetap utuh, jarak antarmolekul meningkat, dan interaksi antarmolekul melemah. Sertakan teks penjelas singkat untuk siswa SMA.”

Visual seperti ini dapat digunakan dalam pembelajaran remedial. Siswa tidak hanya diberi tahu bahwa jawabannya salah, tetapi ditunjukkan model yang benar. Namun, visualisasi miskonsepsi harus hati-hati. Jika visual konsep salah terlalu dominan atau tidak diberi tanda jelas, siswa justru dapat mengingat visual yang salah. Guru harus memastikan bahwa konsep benar lebih tegas dan lebih jelas.

5.1.7 AI sebagai Alat Bantu Desain Visual Kimia

AI dapat membantu guru dalam beberapa tahap desain visual. Pertama, AI dapat membantu menyusun ide visual. Guru dapat meminta daftar visual yang cocok untuk topik tertentu. Kedua, AI dapat membantu membuat deskripsi visual. Deskripsi ini dapat digunakan oleh guru, desainer, atau aplikasi pembuat gambar. Ketiga, AI dapat membantu membuat storyboard animasi. Keempat, AI dapat membantu menyusun teks label, caption, dan pertanyaan pendamping. Kelima, AI dapat membantu membuat rubrik validasi visual.

Contoh prompt ide visual:

“Untuk materi ikatan kimia kelas X, rekomendasikan 10 media visual yang dapat membantu siswa memahami ikatan ion, kovalen, dan logam. Untuk setiap media, jelaskan konsep yang didukung, miskonsepsi yang dicegah, dan cara menggunakannya di kelas.”

Contoh prompt deskripsi visual:

“Buat deskripsi visual untuk menjelaskan ikatan ion pada NaCl. Visual harus menunjukkan transfer elektron dari Na ke Cl, terbentuknya Na^+ dan Cl^-, gaya tarik elektrostatik, dan susunan ion dalam kisi kristal. Sertakan catatan bahwa NaCl tidak terdiri atas molekul NaCl tunggal dalam padatan.”

Contoh prompt storyboard:

“Buat storyboard animasi 60 detik tentang pembentukan ikatan kovalen pada H_2. Tampilkan dua atom H yang masing-masing memiliki satu elektron valensi, berbagi pasangan elektron, dan membentuk molekul H_2. Jelaskan batas model.”

AI membantu mempercepat tahap perancangan. Namun, visual final tetap perlu validasi.

5.1.8 Batasan AI dalam Visualisasi Kimia

Meskipun AI bermanfaat, ada banyak batasan. AI generatif gambar sering kesulitan menghasilkan struktur kimia yang presisi. Teks dalam gambar dapat salah. Label muatan ion dapat keliru. Jumlah ikatan dapat tidak sesuai valensi. Struktur molekul organik dapat terdistorsi. Diagram orbital dapat salah susunan. Warna dan bentuk dapat menarik tetapi tidak ilmiah.

Batasan lainnya adalah AI dapat mencampur gaya artistik dengan representasi ilmiah. Misalnya, molekul dapat digambarkan terlalu dekoratif, atom diberi ekspresi wajah, atau elektron digambarkan sebagai bola kecil yang mengorbit seperti planet tanpa penjelasan model. Untuk pembelajaran anak tertentu, visual antropomorfik kadang menarik, tetapi dalam kimia dapat menimbulkan kesan keliru jika tidak diberi batas.

AI juga dapat menghasilkan visual yang tampak ilmiah tetapi tidak memiliki dasar. Misalnya, gambar “orbital” yang hanya berupa awan warna-warni tanpa hubungan dengan bentuk orbital s, p, d, atau probabilitas elektron. Guru harus memahami bahwa visual yang tampak canggih belum tentu benar.

Karena itu, untuk visual yang membutuhkan ketepatan tinggi, seperti struktur molekul organik, orbital, spektrum, kristalografi, atau model molekul 3D, guru sebaiknya menggunakan perangkat khusus seperti Avogadro, Jmol/JSmol, MolView, ChemDraw, PyMOL, VMD, atau perangkat kimia komputasi yang sesuai. AI dapat membantu menjelaskan atau membuat narasi, tetapi visual presisi perlu dibuat atau diverifikasi dengan alat ilmiah.

5.1.9 Kriteria Visualisasi Kimia yang Baik

Visualisasi kimia yang baik harus memenuhi beberapa kriteria. Pertama, **akurat secara konsep**. Visual harus sesuai dengan prinsip kimia. Kedua, **sesuai tujuan pembelajaran**. Visual harus membantu mencapai tujuan, bukan sekadar menarik. Ketiga, **menghubungkan representasi**. Visual idealnya membantu siswa melihat hubungan makroskopik, submikroskopik, dan simbolik.

Keempat, **jelas dan sederhana**. Visual tidak boleh terlalu padat. Kelima, **memiliki label yang tepat**. Label membantu siswa memahami objek dan hubungan.

Keenam, **menghindari miskonsepsi**. Visual harus diperiksa dari kemungkinan salah tafsir. Ketujuh, **menjelaskan batas model**. Jika visual merupakan model, guru perlu menjelaskan apa yang disederhanakan. Kedelapan, **sesuai jenjang siswa**. Visual untuk siswa SMP, SMA, dan mahasiswa tentu berbeda tingkat abstraksinya. Kesembilan, **dapat digunakan untuk aktivitas berpikir**. Visual sebaiknya dilengkapi pertanyaan, bukan hanya ditampilkan. Kesepuluh, **tervalidasi**. Guru harus memeriksa visual sebelum digunakan.

AI dapat membantu membuat daftar cek visualisasi. Contoh prompt:

“Buat daftar cek validasi visual kimia untuk guru SMA. Daftar cek harus mencakup akurasi konsep, label, representasi, potensi miskonsepsi, kesesuaian jenjang, keterbacaan, batas model, dan pertanyaan pendamping.”

Daftar cek ini dapat digunakan setiap kali guru membuat infografik, slide, diagram, atau animasi berbantuan AI.

5.1.10 Visualisasi sebagai Aktivitas Belajar, Bukan Sekadar Media Tayang

Visualisasi sebaiknya tidak hanya digunakan guru untuk menjelaskan. Visualisasi juga dapat menjadi aktivitas belajar siswa. Siswa dapat diminta membuat diagram partikel, melengkapi peta konsep, membaca grafik, membandingkan model, memperbaiki visual yang salah, membuat infografik, atau menjelaskan animasi. Aktivitas ini membuat siswa aktif membangun representasi.

AI dapat membantu merancang aktivitas visual. Misalnya:

“Buat aktivitas kelas untuk siswa SMA pada materi elektrolit. Siswa diberi tiga visual partikel: larutan NaCl, larutan CH_3COOH, dan larutan gula. Mereka diminta mencocokkan visual dengan data nyala lampu, menulis alasan, dan menyusun kesimpulan. Sertakan rubrik.”

Aktivitas seperti ini melatih siswa menghubungkan visual dengan data dan konsep. Guru dapat juga menggunakan AI untuk membuat visual yang sengaja salah, lalu meminta siswa memperbaikinya. Misalnya, visual larutan gula yang digambarkan sebagai ion. Siswa diminta menemukan kesalahan dan menjelaskan konsep benar.

Dengan demikian, visualisasi menjadi alat berpikir. Siswa tidak hanya melihat, tetapi menafsirkan, mengevaluasi, dan membangun representasi sendiri.

5.1.11 Visualisasi dalam Pembelajaran Berbasis Inkuiri dan Praktikum

Visualisasi juga penting dalam pembelajaran berbasis inkuiri dan praktikum. Praktikum menghasilkan fenomena makroskopik, tetapi siswa perlu menghubungkannya dengan partikel dan simbol. Setelah praktikum uji elektrolit, siswa perlu menggambar model partikel setiap larutan.

Setelah praktikum reaksi pengendapan, siswa perlu menulis persamaan ion bersih. Setelah praktikum laju reaksi, siswa perlu membuat grafik dan menjelaskan dengan teori tumbukan.

AI dapat membantu membuat lembar kerja visual pasca-praktikum. Contoh prompt:

"Buat LKPD pasca-praktikum uji elektrolit yang meminta siswa menghubungkan data nyala lampu, diagram partikel, dan persamaan disosiasi. Sertakan tabel, pertanyaan analisis, dan refleksi miskonsepsi."

Dalam inkuiri, visualisasi dapat digunakan sebelum dan sesudah eksperimen. Sebelum eksperimen, siswa membuat prediksi visual. Setelah eksperimen, mereka membandingkan prediksi dengan data. Perbandingan ini membantu siswa merevisi model mental.

Misalnya, sebelum uji elektrolit, siswa menggambar partikel dalam larutan garam dan gula. Setelah praktikum, mereka memperbaiki gambar berdasarkan hasil pengamatan. AI dapat membantu guru menyusun instruksi dan rubrik untuk aktivitas tersebut.

5.1.12 Visualisasi dalam Pembelajaran Kimia Komputasi Edukatif

Visualisasi memiliki hubungan erat dengan kimia komputasi edukatif. Dengan perangkat pemodelan molekul, siswa dapat melihat geometri molekul, panjang ikatan, sudut ikatan, distribusi muatan, orbital molekul, permukaan potensial elektrostatik, dan energi relatif konformer. AI dapat membantu menjelaskan hasil visualisasi kimia komputasi dengan bahasa yang sesuai jenjang.

Namun, visualisasi kimia komputasi membutuhkan kehati-hatian. Siswa perlu memahami bahwa model komputasi bergantung pada metode, basis set, parameter, dan asumsi. Visualisasi orbital atau densitas elektron bukan gambar langsung elektron, melainkan representasi matematis. Permukaan potensial elektrostatik membantu memahami daerah kaya dan miskin elektron, tetapi perlu interpretasi yang benar.

AI dapat digunakan untuk membuat panduan interpretasi:

"Buat panduan sederhana untuk siswa SMA/mahasiswa awal tentang cara membaca model molekul 3D, panjang ikatan, sudut ikatan, dan permukaan potensial elektrostatik. Jelaskan batas model dan miskonsepsi yang perlu dihindari."

Dalam konteks pendidikan kimia, visualisasi komputasi dapat memperkaya pembelajaran, tetapi harus disesuaikan dengan tujuan. Untuk siswa SMA, fokus dapat pada bentuk molekul dan polaritas. Untuk mahasiswa, dapat ditambah orbital, energi, dan distribusi muatan.

5.1.13 Visualisasi dan Literasi AI

Visualisasi berbantuan AI juga membuka peluang untuk mengembangkan literasi AI siswa. Siswa perlu belajar bahwa visual AI harus diperiksa. Guru dapat memberikan tugas mengevaluasi gambar kimia buatan AI. Misalnya, siswa diberi gambar struktur molekul yang salah, diagram elektrolit

yang keliru, atau visual orbital yang menyesatkan. Siswa diminta menemukan kesalahan, menjelaskan konsep benar, dan memperbaiki deskripsi visual.

Contoh prompt untuk aktivitas guru:

“Buat aktivitas literasi AI untuk materi elektrokimia. Siswa diberi visual AI yang salah karena menunjukkan elektron mengalir melalui jembatan garam. Siswa diminta mengidentifikasi kesalahan, menjelaskan aliran elektron dan ion yang benar, serta membuat versi visual yang diperbaiki. Sertakan rubrik.”

Aktivitas ini menggabungkan pembelajaran kimia dan literasi digital. Siswa tidak hanya menggunakan AI, tetapi belajar mengkritisi AI. Dalam era visual generatif, kemampuan memeriksa kebenaran gambar ilmiah menjadi sangat penting.

5.1.14 Peran Guru dalam Visualisasi Kimia Berbantuan AI

Guru memiliki peran sentral dalam visualisasi kimia berbantuan AI. Guru harus menentukan konsep apa yang perlu divisualisasikan, memilih bentuk visual yang tepat, membuat prompt yang akurat, memvalidasi hasil, menjelaskan batas model, dan mengaitkan visual dengan aktivitas pembelajaran. Guru tidak boleh hanya menampilkan gambar AI tanpa pembahasan.

Peran guru mencakup:

1. **Perancang**: menentukan tujuan visual.
2. **Kurator**: memilih visual yang relevan.
3. **Editor**: memperbaiki label, teks, dan struktur.
4. **Validator**: memeriksa akurasi kimia.
5. **Fasilitator**: mengajak siswa menafsirkan visual.
6. **Pengarah refleksi**: membantu siswa menyadari batas model.
7. **Penjaga etika**: memastikan sumber, hak cipta, dan penggunaan AI transparan.

Guru juga harus memutuskan kapan visual AI layak digunakan dan kapan harus menggunakan sumber lain. Untuk konsep yang sangat presisi, guru sebaiknya menggunakan software kimia atau sumber ilmiah. Untuk ilustrasi konseptual umum, AI dapat membantu selama validasi dilakukan.

5.1.15 Implikasi bagi Pembelajaran Kimia

Urgensi visualisasi dalam pembelajaran kimia membawa beberapa implikasi. Pertama, guru harus merancang pembelajaran yang mengintegrasikan visual, bukan hanya menambahkan gambar di akhir. Visualisasi harus masuk dalam tujuan, aktivitas, dan asesmen. Kedua, siswa harus dilatih membaca visual kimia. Mereka perlu memahami label, simbol, panah, warna, skala, dan batas model. Ketiga, asesmen harus mengukur kemampuan representasional. Siswa perlu diberi soal yang meminta mereka menafsirkan diagram, membuat model partikel, membaca grafik, atau menghubungkan visual dengan persamaan.

Keempat, AI dapat memperluas akses guru terhadap rancangan visual, tetapi tidak menghapus kebutuhan validasi. Kelima, visualisasi harus digunakan untuk membangun pemahaman konseptual, bukan sekadar mempercantik pembelajaran. Keenam, calon guru kimia perlu dilatih membuat dan memvalidasi visual berbantuan AI. Mereka harus mampu membedakan visual ilmiah, visual pedagogis, dan visual dekoratif.

Dengan demikian, visualisasi merupakan unsur mendasar dalam pembelajaran kimia karena membantu siswa memahami konsep abstrak, membangun model mental, menghubungkan representasi, membaca data, dan mengatasi miskonsepsi. AI dapat memperkaya proses visualisasi melalui pembuatan rancangan gambar, diagram, infografik, slide, simulasi, dan storyboard. Namun, visualisasi berbantuan AI hanya bernilai jika akurat, relevan, tervalidasi, dan digunakan dalam aktivitas belajar yang bermakna. Guru tetap menjadi penentu kualitas visualisasi kimia agar AI benar-benar memperkuat pemahaman, bukan memperindah miskonsepsi.

5.2 AI untuk Menjelaskan Struktur Atom dan Konfigurasi Elektron

Struktur atom dan konfigurasi elektron merupakan fondasi penting dalam pembelajaran kimia karena hampir seluruh konsep kimia modern bertumpu pada pemahaman tentang susunan partikel penyusun atom, distribusi elektron, tingkat energi, orbital, elektron valensi, dan kecenderungan atom berinteraksi. Ikatan kimia, sifat periodik unsur, reaktivitas, bilangan oksidasi, bentuk molekul, spektrum atom, hingga konsep orbital molekul tidak dapat dipahami secara mendalam tanpa pemahaman dasar tentang struktur atom dan konfigurasi elektron. Oleh karena itu, kemampuan menjelaskan struktur atom secara visual, bertahap, dan representasional menjadi kebutuhan penting dalam pembelajaran kimia.

Namun, struktur atom termasuk salah satu topik yang paling rentan menimbulkan miskonsepsi. Banyak siswa membayangkan atom seperti sistem tata surya kecil, dengan elektron bergerak mengelilingi inti pada lintasan pasti seperti planet mengelilingi matahari. Model Bohr sering membantu pada tahap awal, tetapi jika tidak dijelaskan batasnya, model tersebut dapat membuat siswa keliru memahami konsep orbital modern. Dalam mekanika kuantum, elektron tidak dipahami sebagai partikel kecil yang bergerak pada lintasan pasti, melainkan dideskripsikan melalui fungsi gelombang, probabilitas keberadaan, tingkat energi, orbital, dan bilangan kuantum. Bagi siswa sekolah menengah, konsep ini tentu perlu disederhanakan, tetapi penyederhanaan tersebut tidak boleh menyesatkan.

AI dapat membantu guru menjelaskan struktur atom dan konfigurasi elektron melalui berbagai cara. AI dapat membuat analogi terbatas, peta konsep, tabel perbandingan model atom, visualisasi perkembangan model atom, latihan konfigurasi elektron, penjelasan orbital, diagram tingkat energi, soal diagnostik, pertanyaan reflektif, dan bahan remedial. AI juga dapat membantu menyusun narasi yang membedakan model atom klasik dan model atom modern. Namun, guru harus memastikan bahwa visualisasi dan penjelasan AI tidak memperkuat model atom yang keliru. Penjelasan yang terlalu populer seperti “elektron berputar mengelilingi inti seperti planet” perlu dikoreksi atau diberi batas sebagai model historis, bukan gambaran atom modern.

Dalam pembelajaran kimia, AI sebaiknya digunakan untuk menjelaskan struktur atom secara bertahap. Tahap awal dapat dimulai dari komponen atom: proton, neutron, dan elektron. Setelah

itu, pembelajaran dapat bergerak menuju nomor atom, nomor massa, isotop, ion, kulit elektron, tingkat energi, konfigurasi elektron, elektron valensi, orbital, aturan Aufbau, larangan Pauli, kaidah Hund, dan hubungan konfigurasi elektron dengan tabel periodik. Urutan bertahap ini penting agar siswa tidak langsung dibebani dengan mekanika kuantum sebelum memahami struktur dasar atom.

5.2.1 Struktur Atom sebagai Dasar Pemahaman Kimia

Struktur atom menjelaskan bagaimana materi tersusun pada tingkat paling dasar. Atom terdiri atas inti yang mengandung proton dan neutron, serta elektron yang berada di sekitar inti dalam daerah probabilitas tertentu. Proton bermuatan positif, neutron tidak bermuatan, dan elektron bermuatan negatif. Jumlah proton menentukan nomor atom dan identitas unsur. Jumlah proton dan neutron menentukan nomor massa. Jumlah elektron pada atom netral sama dengan jumlah proton. Jika atom kehilangan atau menerima elektron, atom berubah menjadi ion.

Pemahaman ini sangat penting karena banyak konsep kimia bergantung pada jumlah proton dan elektron. Unsur natrium berbeda dari magnesium karena jumlah protonnya berbeda. Ion Na^+ terbentuk ketika atom natrium kehilangan satu elektron, bukan kehilangan proton. Isotop karbon-12 dan karbon-14 memiliki jumlah proton sama, tetapi jumlah neutron berbeda. Tanpa pemahaman struktur atom, siswa dapat salah memahami isotop, ion, massa atom relatif, ikatan kimia, dan reaksi redoks.

AI dapat membantu guru membuat penjelasan sederhana tentang hubungan antara proton, neutron, elektron, nomor atom, nomor massa, isotop, dan ion. Contoh prompt:

“Buat penjelasan visual dan tabel ringkas tentang hubungan proton, neutron, elektron, nomor atom, nomor massa, isotop, dan ion untuk siswa SMA kelas X. Sertakan contoh atom karbon, isotop karbon-14, atom natrium, dan ion Na^+. Jelaskan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Prompt ini dapat menghasilkan bahan ajar yang lebih terstruktur. Guru kemudian memvalidasi contoh dan istilah. Penjelasan harus menegaskan bahwa perubahan jumlah proton mengubah identitas unsur, sedangkan perubahan jumlah elektron menghasilkan ion. Perubahan jumlah neutron menghasilkan isotop.

5.2.2 Perkembangan Model Atom dan Fungsi Visualisasi

Pembelajaran struktur atom sering dimulai dari perkembangan model atom: Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, dan model mekanika kuantum. Urutan historis ini berguna untuk menunjukkan bahwa ilmu pengetahuan berkembang melalui bukti dan revisi model. Namun, pembelajaran model atom tidak boleh berhenti pada hafalan nama tokoh. Siswa perlu memahami mengapa suatu model diajukan, bukti apa yang mendukungnya, apa keterbatasannya, dan mengapa model berikutnya diperlukan.

AI dapat membantu membuat visualisasi perkembangan model atom. Misalnya, guru dapat meminta AI menyusun tabel perbandingan:

“Buat tabel perkembangan model atom dari Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, hingga model mekanika kuantum. Kolom harus memuat gagasan utama, bukti/eksperimen pendukung, kelebihan, keterbatasan, dan miskonsepsi yang perlu dihindari. Gunakan bahasa siswa SMA.”

Tabel ini dapat membantu siswa melihat bahwa model Bohr bukan model final. Model Bohr menjelaskan tingkat energi elektron pada atom hidrogen secara sederhana, tetapi tidak sepenuhnya menjelaskan atom multi-elektron dan tidak menggambarkan elektron sebagai partikel yang bergerak pada lintasan pasti dalam pandangan modern.

AI juga dapat membantu membuat aktivitas kelas:

“Buat aktivitas diskusi tentang perkembangan model atom. Siswa diminta membandingkan model Rutherford dan Bohr, lalu menjelaskan mengapa model atom terus berkembang. Sertakan pertanyaan pemandu dan refleksi tentang sifat model ilmiah.”

Aktivitas ini membantu siswa memahami bahwa model ilmiah adalah representasi yang dapat berubah ketika bukti baru muncul.

5.2.3 Risiko Miskonsepsi Model Atom Planetary

Salah satu miskonsepsi paling umum adalah membayangkan atom sebagai sistem tata surya mini. Dalam visual populer, inti atom berada di tengah dan elektron digambarkan mengorbit pada lintasan melingkar seperti planet. Visual ini mudah dipahami, tetapi berisiko besar. Jika tidak diberi batas, siswa dapat berpikir bahwa elektron memiliki lintasan pasti dan posisi yang dapat diketahui secara tepat. Padahal, dalam model mekanika kuantum, orbital menggambarkan daerah dengan peluang tinggi untuk menemukan elektron, bukan lintasan tetap.

Guru tidak harus langsung mengajarkan detail matematis mekanika kuantum kepada siswa SMA, tetapi guru perlu menggunakan bahasa yang hati-hati. Misalnya, daripada mengatakan “elektron berputar pada orbit tertentu”, lebih aman mengatakan “elektron dalam atom menempati tingkat energi dan orbital tertentu; orbital menunjukkan daerah kemungkinan ditemukannya elektron.” Untuk tahap awal, model kulit masih dapat digunakan sebagai penyederhanaan, tetapi guru perlu menyatakan bahwa model itu adalah alat bantu, bukan gambaran atom yang sepenuhnya nyata.

AI dapat membantu membuat bagian klarifikasi:

“Jelaskan kepada siswa SMA perbedaan antara orbit Bohr dan orbital dalam model atom modern. Gunakan bahasa sederhana. Jelaskan bahwa orbit adalah lintasan tetap dalam model Bohr, sedangkan orbital adalah daerah probabilitas keberadaan elektron. Sertakan analogi terbatas dan miskonsepsi yang harus dihindari.”

Penjelasan semacam ini penting agar visualisasi atom tidak berhenti pada gambar melingkar yang menyesatkan.

5.2.4 Konfigurasi Elektron sebagai Jembatan ke Tabel Periodik

Konfigurasi elektron menjelaskan distribusi elektron dalam tingkat energi, subkulit, dan orbital. Konfigurasi elektron menjadi jembatan antara struktur atom dan sifat periodik unsur. Letak unsur dalam tabel periodik, golongan, periode, elektron valensi, kecenderungan membentuk ion, dan sifat kimia sangat berkaitan dengan konfigurasi elektron.

Misalnya, natrium memiliki konfigurasi elektron $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$. Elektron valensinya satu pada tingkat energi ketiga. Hal ini menjelaskan mengapa natrium cenderung melepas satu elektron membentuk Na^+. Klorin memiliki konfigurasi $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$. Klorin memiliki tujuh elektron valensi dan cenderung menerima satu elektron membentuk Cl^-. Hubungan ini menjadi dasar pemahaman ikatan ion.

AI dapat membantu guru membuat latihan konfigurasi elektron bertahap. Contoh prompt:

"Buat latihan bertahap konfigurasi elektron untuk siswa SMA kelas X. Mulai dari unsur H, He, Li, C, O, Na, Mg, Cl, Ar, K, dan Ca. Untuk setiap unsur, tuliskan nomor atom, konfigurasi elektron lengkap, konfigurasi singkat gas mulia, elektron valensi, golongan, periode, dan kecenderungan membentuk ion. Sertakan kunci dan pembahasan."

Latihan seperti ini membantu siswa melihat konfigurasi elektron bukan sekadar pola penulisan, tetapi dasar sifat unsur.

5.2.5 AI untuk Menjelaskan Aturan Aufbau, Larangan Pauli, dan Kaidah Hund

Konfigurasi elektron mengikuti beberapa prinsip dasar, yaitu aturan Aufbau, larangan Pauli, dan kaidah Hund. Aturan Aufbau menyatakan bahwa elektron mengisi orbital berenergi lebih rendah terlebih dahulu sebelum orbital berenergi lebih tinggi. Larangan Pauli menyatakan bahwa satu orbital maksimum ditempati dua elektron dengan spin berlawanan. Kaidah Hund menyatakan bahwa pada orbital-orbital setingkat energi, elektron akan menempati orbital secara sendiri-sendiri terlebih dahulu dengan spin sejajar sebelum berpasangan.

Konsep ini sering sulit bagi siswa karena melibatkan abstraksi subkulit, orbital, dan spin. AI dapat membantu membuat penjelasan bertahap dan analogi terbatas. Namun, analogi harus hati-hati. Misalnya, analogi "kursi kosong dalam bus" dapat membantu menjelaskan kaidah Hund, tetapi harus diberi batas bahwa elektron bukan manusia yang memilih kursi.

Contoh prompt:

"Jelaskan aturan Aufbau, larangan Pauli, dan kaidah Hund untuk siswa SMA. Gunakan contoh pengisian orbital 2p pada nitrogen dan oksigen. Sertakan diagram orbital sederhana dalam teks, kesalahan umum, dan latihan."

AI dapat menghasilkan diagram teks seperti:

Nitrogen, Z = 7:
1s: ↑↓

2s: ↑↓
2p: ↑ ↑ ↑

Oksigen, Z = 8:
1s: ↑↓
2s: ↑↓
2p: ↑↓ ↑ ↑

Guru perlu memeriksa apakah pengisian orbital sudah benar dan sesuai konvensi.

5.2.6 Visualisasi Orbital dan Batasnya

Orbital merupakan konsep penting tetapi sering disalahpahami. Orbital bukan orbit. Orbital menggambarkan daerah probabilitas keberadaan elektron dalam atom. Orbital s berbentuk bola secara umum, orbital p memiliki dua lobus, sedangkan orbital d lebih kompleks. Namun, gambar orbital yang biasa dilihat siswa adalah representasi permukaan probabilitas, bukan foto langsung elektron.

AI dapat membantu membuat deskripsi visual orbital, tetapi guru harus menekankan batas model. Contoh prompt:

"Buat penjelasan visual tentang orbital s dan p untuk siswa SMA. Jelaskan bahwa orbital adalah daerah probabilitas keberadaan elektron, bukan lintasan elektron. Jelaskan bentuk umum orbital s dan p, orientasi px, py, pz, serta batas visualisasi orbital. Hindari penjelasan matematis yang terlalu tinggi."

Penjelasan harus menegaskan beberapa hal:

1. Orbital tidak menunjukkan lintasan elektron.
2. Bentuk orbital menunjukkan daerah peluang tinggi menemukan elektron.
3. Warna pada gambar orbital biasanya hanya konvensi.
4. Ukuran gambar orbital bukan ukuran atom yang sebenarnya.
5. Orbital membantu menjelaskan konfigurasi elektron dan ikatan kimia.

Visualisasi orbital dapat digunakan untuk memperkuat pemahaman ikatan kovalen, hibridisasi, dan geometri molekul pada jenjang lebih lanjut. Namun, untuk siswa awal, cukup diperkenalkan secara konseptual.

5.2.7 AI untuk Membuat Diagram Tingkat Energi

Diagram tingkat energi membantu siswa memahami urutan pengisian elektron. AI dapat membantu guru membuat diagram verbal atau tabel urutan energi subkulit. Dalam konfigurasi elektron, urutan umum pengisian mengikuti pola:

1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, dan seterusnya.

Siswa sering bingung mengapa 4s diisi sebelum 3d. Guru dapat menjelaskan bahwa urutan pengisian mengikuti energi orbital dalam atom multi-elektron, dan energi relatif subkulit dapat berubah ketika elektron terisi. Untuk tingkat SMA, penjelasan dapat dibuat sederhana.

Contoh prompt:

"Buat bahan ajar singkat tentang diagram tingkat energi untuk konfigurasi elektron siswa SMA. Jelaskan urutan pengisian subkulit, kapasitas s, p, d, f, dan contoh konfigurasi K, Ca, Sc, dan Fe. Sertakan kesalahan umum."

AI dapat membantu membuat tabel kapasitas:

Subkulit	Jumlah Orbital	Kapasitas Elektron
s	1	2
p	3	6
d	5	10
f	7	14

Tabel ini membantu siswa memahami mengapa p maksimum 6 elektron dan d maksimum 10 elektron.

5.2.8 AI untuk Menghubungkan Konfigurasi Elektron dengan Elektron Valensi

Elektron valensi adalah elektron pada tingkat energi terluar yang banyak menentukan sifat kimia unsur. Pemahaman elektron valensi sangat penting untuk mempelajari ikatan kimia, struktur Lewis, kecenderungan membentuk ion, dan sifat periodik. AI dapat membantu membuat penjelasan hubungan konfigurasi elektron dan elektron valensi.

Contoh prompt:

"Buat penjelasan tentang cara menentukan elektron valensi dari konfigurasi elektron untuk siswa SMA. Gunakan contoh Na, Mg, Al, C, N, O, F, Ne, Cl, dan Ar. Hubungkan elektron valensi dengan golongan utama dan kecenderungan membentuk ion."

Penjelasan harus hati-hati untuk unsur transisi. Untuk unsur golongan utama, elektron valensi dapat dipahami dari elektron pada kulit terluar. Untuk unsur transisi, penjelasan lebih kompleks karena elektron d juga berperan dalam sifat kimia. Pada tingkat SMA, guru dapat membatasi terlebih dahulu pada unsur golongan utama agar siswa tidak bingung.

AI juga dapat membantu membuat latihan:

"Buat 10 soal menentukan elektron valensi dan kecenderungan ion dari konfigurasi elektron unsur golongan utama. Sertakan kunci dan pembahasan."

Latihan ini membantu siswa mempersiapkan materi ikatan kimia.

5.2.9 AI untuk Menjelaskan Hubungan Konfigurasi Elektron dan Sifat Periodik

Sifat periodik unsur seperti jari-jari atom, energi ionisasi, afinitas elektron, dan keelektronegatifan berkaitan dengan struktur elektron. Siswa sering menghafal tren periodik tanpa memahami alasannya. AI dapat membantu menjelaskan tren tersebut melalui visualisasi konfigurasi elektron, muatan inti efektif, jumlah kulit, dan tarikan inti terhadap elektron valensi.

Misalnya, dalam satu periode dari kiri ke kanan, jumlah proton bertambah, elektron masuk ke kulit yang sama, muatan inti efektif meningkat, sehingga jari-jari atom cenderung mengecil. Dalam satu golongan dari atas ke bawah, jumlah kulit bertambah, sehingga jari-jari atom cenderung membesar. Energi ionisasi cenderung meningkat dari kiri ke kanan karena elektron valensi semakin kuat ditarik inti, dan cenderung menurun dari atas ke bawah karena elektron valensi semakin jauh dari inti.

Contoh prompt:

“Buat penjelasan visual tentang hubungan konfigurasi elektron dengan tren periodik jari-jari atom dan energi ionisasi untuk siswa SMA. Gunakan contoh periode 3 dari Na sampai Ar dan golongan alkali dari Li sampai Cs. Sertakan tabel, narasi, dan miskonsepsi umum.”

AI dapat membantu membuat tabel tren, tetapi guru perlu memeriksa generalisasi dan pengecualian. Untuk tingkat SMA, tren umum cukup, tetapi guru dapat menyebut bahwa ada pengecualian pada beberapa sifat periodik karena konfigurasi subkulit dan stabilitas relatif.

5.2.10 AI untuk Menyusun Aktivitas Visual Konfigurasi Elektron

Visualisasi konfigurasi elektron sebaiknya tidak hanya berupa penjelasan guru. Siswa dapat diminta menyusun diagram orbital, mengisi elektron, mencocokkan konfigurasi dengan unsur, menemukan elektron valensi, dan menghubungkan dengan letak unsur dalam tabel periodik. AI dapat membantu membuat aktivitas kelas.

Contoh prompt:

“Buat aktivitas kelas berbasis visual untuk materi konfigurasi elektron. Siswa bekerja berpasangan mengisi diagram orbital untuk unsur C, N, O, Na, Mg, dan Cl, lalu menentukan elektron valensi, golongan, periode, dan kecenderungan membentuk ion. Sertakan instruksi, lembar kerja, kunci, dan rubrik singkat.”

Aktivitas ini membantu siswa membangun pemahaman aktif. Guru dapat menyediakan kartu subkulit atau diagram kosong. Siswa mengisi elektron mengikuti aturan Aufbau, Pauli, dan Hund.

AI juga dapat membantu membuat aktivitas kesalahan konsep:

“Buat lima contoh konfigurasi elektron yang salah dan minta siswa menemukan kesalahannya. Kesalahan mencakup melanggar aturan Aufbau, melanggar larangan Pauli, melanggar kaidah Hund, salah kapasitas subkulit, dan salah menentukan elektron valensi. Sertakan kunci.”

Aktivitas memperbaiki kesalahan sangat efektif karena siswa belajar mengenali pola yang salah.

5.2.11 AI untuk Membuat Soal Diagnostik Struktur Atom

Struktur atom dan konfigurasi elektron memiliki banyak miskonsepsi. AI dapat membantu membuat asesmen diagnostik. Beberapa miskonsepsi yang sering muncul antara lain:

1. Elektron bergerak pada orbit pasti seperti planet.
2. Atom sebagian besar berisi materi padat.
3. Ion terbentuk karena atom kehilangan proton.
4. Isotop berbeda karena jumlah elektron berbeda.
5. Nomor massa sama dengan massa atom relatif.
6. Elektron valensi selalu sama dengan jumlah elektron total.
7. Orbital sama dengan orbit.
8. Subkulit p hanya memiliki satu orbital.
9. Elektron mengisi orbital berpasangan dulu sebelum menyendiri.
10. Konfigurasi elektron hanya pola hafalan tanpa hubungan dengan sifat unsur.

Contoh prompt:

"Buat asesmen diagnostik struktur atom dan konfigurasi elektron untuk siswa SMA kelas X. Buat 10 soal two-tier yang menargetkan miskonsepsi tentang proton, neutron, elektron, isotop, ion, orbit-orbital, konfigurasi elektron, dan elektron valensi. Sertakan kunci, interpretasi jawaban, dan tindak lanjut."

Soal diagnostik dapat membantu guru mengetahui apakah siswa siap mempelajari ikatan kimia. Jika banyak siswa salah memahami elektron valensi, pembelajaran ikatan kimia perlu diawali dengan penguatan konfigurasi elektron.

5.2.12 AI untuk Membuat Materi Remedial Struktur Atom

AI dapat membantu membuat materi remedial berdasarkan jenis kesulitan siswa. Misalnya, jika siswa salah memahami ion, remedial harus menekankan bahwa ion terbentuk karena perubahan jumlah elektron, bukan proton. Jika siswa salah membedakan isotop dan ion, remedial harus membuat tabel perbandingan.

Contoh prompt:

"Buat materi remedial untuk siswa yang belum membedakan atom netral, ion, dan isotop. Gunakan contoh atom Na, ion Na^+, atom Cl, ion Cl^-, karbon-12, dan karbon-14. Sertakan tabel perbandingan, latihan, kunci, dan miskonsepsi yang perlu dihindari."

Materi remedial dapat memuat tabel:

Konsep	Yang Berubah	Identitas Unsur Berubah?	Contoh
Ion	Jumlah elektron	Tidak	Na menjadi Na^+

Isotop	Jumlah neutron	Tidak	C-12 dan C-14
Unsur berbeda	Jumlah proton	Ya	C dan N

Tabel semacam ini membantu siswa mengatasi kebingungan.

5.2.13 AI untuk Membuat Visualisasi Struktur Atom yang Aman secara Konsep

Jika guru ingin membuat visual struktur atom dengan AI, prompt harus menghindari penguatan model yang salah. Misalnya, daripada meminta "gambar atom dengan elektron mengorbit seperti planet", lebih baik meminta "visual edukatif yang membandingkan model Bohr sebagai model historis dengan model orbital sebagai daerah probabilitas."

Contoh prompt:

"Buat rancangan visual edukatif untuk siswa SMA yang membandingkan model Bohr dan model mekanika kuantum. Panel kiri: model Bohr sebagai model historis dengan tingkat energi diskret. Panel kanan: model orbital sebagai daerah probabilitas keberadaan elektron. Sertakan label 'model sederhana' dan 'model modern', serta catatan bahwa orbital bukan lintasan elektron."

Prompt ini membuat visual lebih pedagogis. Guru harus memeriksa hasil jika menggunakan alat gambar. Jika gambar masih menampilkan elektron sebagai planet tanpa penjelasan, guru perlu menolak atau memperbaikinya.

Untuk konfigurasi elektron, visual lebih aman dibuat dalam bentuk diagram tingkat energi, diagram orbital, tabel kapasitas subkulit, atau peta hubungan konfigurasi-elektron valensi-golongan. Visual semacam ini lebih akurat daripada gambar atom dekoratif.

5.2.14 AI untuk Membantu Guru Membuat Analogi Terbatas

Analogi dapat membantu menjelaskan struktur atom, tetapi analogi perlu batas. Misalnya, analogi hotel untuk tingkat energi dan kamar untuk orbital dapat membantu menjelaskan kapasitas elektron, tetapi elektron bukan manusia yang memilih kamar. Analogi tangga dapat membantu menjelaskan tingkat energi, tetapi elektron tidak benar-benar menaiki tangga fisik.

AI dapat membantu membuat analogi dengan batasnya. Contoh prompt:

"Buat tiga analogi terbatas untuk menjelaskan tingkat energi, subkulit, dan orbital kepada siswa SMA. Untuk setiap analogi, tuliskan bagian yang membantu, bagian yang tidak tepat, dan miskonsepsi yang perlu dihindari."

Dengan cara ini, guru tidak hanya memberi analogi, tetapi juga melatih siswa memahami bahwa analogi adalah alat bantu. Dalam pembelajaran kimia, analogi yang tidak dikritisi dapat menjadi sumber miskonsepsi.

Contoh:

Analogi gedung bertingkat:

- Membantu: tingkat energi seperti lantai; subkulit seperti area dalam lantai; orbital seperti ruang.
- Batas: elektron bukan orang; pengisian elektron tidak mengikuti kehendak; energi orbital tidak sesederhana ruang fisik.
- Miskonsepsi yang dihindari: elektron tidak berada di "kamar" sebagai benda diam.

5.2.15 AI untuk Menghubungkan Struktur Atom dengan Konsep Lanjutan

Struktur atom dan konfigurasi elektron bukan topik yang berdiri sendiri. Keduanya harus dihubungkan dengan konsep lanjutan agar siswa memahami kegunaannya. AI dapat membantu membuat jembatan konseptual ke ikatan kimia, tabel periodik, redoks, spektroskopi, dan kimia komputasi.

Contoh prompt:

"Buat peta konsep yang menghubungkan struktur atom dan konfigurasi elektron dengan ikatan kimia, elektron valensi, tabel periodik, sifat periodik, pembentukan ion, struktur Lewis, dan reaktivitas unsur. Gunakan kata penghubung yang jelas."

Peta konsep dapat menunjukkan:

- Nomor atom menentukan jumlah proton.
- Jumlah proton menentukan identitas unsur.
- Jumlah elektron pada atom netral sama dengan jumlah proton.
- Konfigurasi elektron menunjukkan distribusi elektron.
- Elektron valensi memengaruhi pembentukan ikatan.
- Konfigurasi elektron berkaitan dengan golongan dan periode.
- Elektron valensi digunakan dalam struktur Lewis.
- Kecenderungan melepas atau menerima elektron berkaitan dengan pembentukan ion.

Dengan peta semacam ini, siswa melihat bahwa konfigurasi elektron bukan sekadar tugas menulis urutan $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$, tetapi dasar memahami perilaku kimia.

5.2.16 Validasi Penjelasan AI tentang Struktur Atom

Penjelasan AI tentang struktur atom harus divalidasi. Beberapa aspek yang perlu diperiksa:

1. Apakah AI membedakan proton, neutron, dan elektron dengan benar?
2. Apakah nomor atom dan nomor massa dijelaskan tepat?
3. Apakah isotop dibedakan dari ion?
4. Apakah perubahan ion dikaitkan dengan elektron, bukan proton?
5. Apakah model Bohr dijelaskan sebagai model historis/sederhana?
6. Apakah orbit dan orbital dibedakan?
7. Apakah konfigurasi elektron mengikuti aturan yang benar?

8. Apakah diagram orbital mengikuti Pauli dan Hund?
9. Apakah elektron valensi dijelaskan sesuai jenjang?
10. Apakah hubungan konfigurasi dengan tabel periodik akurat?
11. Apakah visual tidak memperkuat miskonsepsi?
12. Apakah analogi diberi batas?

Prompt validasi:

“Tinjau penjelasan struktur atom dan konfigurasi elektron berikut. Periksa akurasi konsep, perbedaan orbit-orbital, aturan konfigurasi elektron, kemungkinan miskonsepsi, dan kesesuaian untuk siswa SMA. Berikan revisi konkret.”

Guru harus tetap memeriksa berdasarkan buku teks kimia dan sumber pendidikan kimia yang valid. AI dapat membantu meninjau, tetapi tidak boleh menjadi validator tunggal.

5.2.17 Contoh Prompt Lengkap untuk Bahan Ajar Struktur Atom

Berikut contoh prompt lengkap yang dapat digunakan guru:

“Bertindaklah sebagai guru kimia SMA dan pengembang bahan ajar visual. Buat bahan ajar tentang struktur atom dan konfigurasi elektron untuk siswa kelas X. Bahan harus memuat: tujuan pembelajaran, prasyarat, perkembangan model atom secara ringkas, perbedaan proton-neutron-elektron, nomor atom, nomor massa, isotop, ion, perbedaan orbit dan orbital, konfigurasi elektron, aturan Aufbau, larangan Pauli, kaidah Hund, elektron valensi, hubungan dengan tabel periodik, contoh konfigurasi Na, Mg, Cl, Ar, dan Ca, latihan bertahap, miskonsepsi umum, dan asesmen formatif. Gunakan bahasa sederhana, hindari visual yang membuat elektron tampak seperti planet tanpa catatan model, dan sertakan bagian validasi konsep.”

Prompt ini cukup lengkap untuk menghasilkan draf bahan ajar. Guru kemudian dapat mengembangkan satu bagian demi satu bagian, bukan langsung menerima seluruh output. Pendekatan bertahap lebih aman karena topik struktur atom cukup kompleks.

5.2.18 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu memiliki pemahaman yang kuat tentang struktur atom dan konfigurasi elektron karena topik ini menjadi dasar banyak konsep kimia. Dalam penggunaan AI, guru perlu mampu menilai apakah penjelasan dan visual yang dihasilkan AI sesuai dengan model ilmiah modern dan sesuai jenjang siswa. Guru juga perlu menjelaskan batas model atom agar siswa tidak menyamakan visual sederhana dengan realitas atom sebenarnya.

Calon guru kimia perlu dilatih membuat visualisasi struktur atom berbantuan AI secara kritis. Mereka dapat diminta membuat bahan ajar tentang model atom, konfigurasi elektron, atau orbital, lalu mengevaluasi potensi miskonsepsi. Tugas dapat mencakup pembuatan prompt, output AI, revisi, validasi konsep, dan refleksi pedagogis.

Contoh tugas:

“Gunakan AI untuk membuat bahan visual tentang perbedaan orbit dan orbital. Setelah itu, identifikasi bagian yang berpotensi menimbulkan miskonsepsi, revisi penjelasan, dan buat pertanyaan diagnostik untuk siswa.”

Dengan tugas seperti ini, calon guru belajar bahwa visualisasi atom harus akurat, hati-hati, dan selalu disertai penjelasan batas model.

Dengan demikian, AI dapat membantu menjelaskan struktur atom dan konfigurasi elektron melalui penjelasan bertahap, tabel, diagram orbital, peta konsep, latihan, analogi terbatas, dan asesmen diagnostik. Namun, guru harus memastikan bahwa AI tidak memperkuat miskonsepsi seperti model atom planet, orbit sebagai lintasan pasti, ion terbentuk karena perubahan proton, atau orbital sebagai jalur elektron. Visualisasi struktur atom berbantuan AI harus mengarahkan siswa pada pemahaman yang benar tentang partikel atom, tingkat energi, konfigurasi elektron, elektron valensi, dan hubungan struktur atom dengan sifat kimia unsur.

5.3 AI untuk Memvisualisasikan Ikatan Kimia

Ikatan kimia merupakan salah satu konsep inti dalam kimia karena menjelaskan mengapa atom dapat bergabung membentuk zat, mengapa zat memiliki sifat tertentu, dan bagaimana perubahan kimia terjadi. Pemahaman tentang ikatan kimia menjadi dasar bagi banyak topik lanjutan, seperti struktur molekul, gaya antarmolekul, sifat zat, reaksi kimia, termokimia, elektrokimia, kimia organik, material, biokimia, dan kimia komputasi. Namun, ikatan kimia juga termasuk konsep yang sangat abstrak karena peserta didik tidak dapat melihat secara langsung proses pembentukan ikatan, distribusi elektron, gaya tarik elektrostatik, maupun perubahan energi yang menyertainya.

Visualisasi sangat penting dalam pembelajaran ikatan kimia karena siswa perlu membangun gambaran tentang hubungan antara elektron valensi, kestabilan relatif, gaya tarik inti terhadap elektron, pembentukan ion, pemakaian bersama pasangan elektron, delokalisasi elektron, dan struktur zat. Tanpa visualisasi yang tepat, siswa cenderung menghafal bahwa ikatan ion terjadi karena “serah terima elektron”, ikatan kovalen terjadi karena “pemakaian bersama elektron”, dan ikatan logam terjadi karena “lautan elektron”, tetapi tidak memahami makna fisik dan batas model dari penjelasan tersebut. Akibatnya, konsep ikatan kimia sering dipahami secara dangkal dan terpisah dari sifat zat.

AI dapat membantu guru memvisualisasikan ikatan kimia melalui diagram, tabel perbandingan, model partikel, narasi visual, animasi konseptual, struktur Lewis, peta konsep, infografik, aktivitas membandingkan model, dan simulasi sederhana. AI dapat membantu membuat rancangan visual pembentukan ikatan ion, ikatan kovalen, kovalen polar, kovalen nonpolar, ikatan koordinasi, ikatan logam, serta hubungan antara jenis ikatan dan sifat zat. Namun, guru perlu berhati-hati karena visualisasi ikatan kimia sangat rentan terhadap miskonsepsi. Gambar yang tampak menarik belum tentu benar secara kimia.

Kesalahan visual yang sering terjadi antara lain menggambarkan ikatan ion sebagai molekul pasangan tunggal NaCl yang berdiri sendiri, menggambarkan transfer elektron sebagai peristiwa literal yang selalu terjadi sebelum atom berdekatan, menggambarkan ikatan kovalen sebagai batang fisik antaratom, menggambarkan elektron sebagai titik statis yang menempel pada atom,

menggambarkan logam sebagai atom positif yang dikelilingi elektron bebas tanpa menjelaskan modelnya, atau menyederhanakan semua ikatan menjadi kategori kaku ionik-kovalen tanpa menunjukkan spektrum karakter ikatan. Oleh karena itu, visualisasi ikatan kimia berbantuan AI harus selalu divalidasi secara konseptual.

5.3.1 Ikatan Kimia sebagai Konsep Penghubung Struktur dan Sifat Zat

Ikatan kimia tidak hanya menjelaskan bagaimana atom bergabung, tetapi juga menjelaskan sifat zat yang terbentuk. Natrium klorida memiliki titik leleh tinggi dan menghantarkan listrik dalam keadaan lelehan atau larutan karena tersusun atas ion-ion dalam kisi kristal. Air memiliki titik didih relatif tinggi dibandingkan molekul kecil sejenis karena adanya gaya antarmolekul yang kuat, terutama ikatan hidrogen antarmolekul. Logam dapat menghantarkan listrik karena elektron valensi dalam model logam dapat bergerak relatif bebas. Berlian sangat keras karena atom karbon tersusun dalam jaringan kovalen tiga dimensi.

Dengan demikian, pembelajaran ikatan kimia harus menghubungkan struktur partikel dengan sifat makroskopik. Siswa tidak cukup mengetahui bahwa NaCl adalah senyawa ion. Mereka perlu memahami bahwa padatan NaCl tersusun atas kisi ion, bukan molekul NaCl diskret. Siswa tidak cukup mengetahui bahwa H_2O memiliki ikatan kovalen. Mereka perlu memahami bahwa polaritas ikatan dan bentuk molekul memengaruhi polaritas molekul serta gaya antarmolekul. Siswa tidak cukup mengetahui bahwa logam memiliki ikatan logam. Mereka perlu memahami bahwa model elektron terdelokalisasi menjelaskan daya hantar listrik, kilap, dan kelenturan logam.

AI dapat membantu guru menyusun visual yang menghubungkan ikatan dan sifat. Contoh prompt:

“Buat rancangan visual tiga kolom untuk membandingkan zat ionik, molekul kovalen, jaringan kovalen, dan logam. Setiap kolom harus memuat struktur partikel, jenis ikatan dominan, sifat makroskopik, contoh zat, dan alasan pada level partikel. Gunakan bahasa siswa SMA dan sertakan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Visual seperti ini membantu siswa melihat bahwa ikatan kimia bukan sekadar klasifikasi, tetapi penjelasan terhadap sifat material.

5.3.2 AI untuk Memvisualisasikan Ikatan Ion

Ikatan ion umumnya dijelaskan sebagai gaya tarik elektrostatik antara ion positif dan ion negatif. Dalam pembelajaran awal, pembentukan ion sering dijelaskan melalui pelepasan elektron oleh atom logam dan penerimaan elektron oleh atom nonlogam. Misalnya, natrium dapat membentuk Na^+ dengan melepas satu elektron valensi, sedangkan klorin dapat membentuk Cl^- dengan menerima satu elektron. Gaya tarik antara Na^+ dan Cl^- menghasilkan susunan ionik.

Namun, visualisasi ikatan ion perlu hati-hati. Kesalahan umum adalah menggambarkan NaCl sebagai molekul kecil yang terdiri atas satu Na^+ dan satu Cl^- seperti pasangan tunggal. Padahal, padatan NaCl tersusun sebagai kisi kristal ionik yang luas, bukan molekul NaCl diskret. Rumus NaCl menunjukkan perbandingan ion paling sederhana, bukan satu molekul terpisah. Jika AI

membuat gambar NaCl sebagai satu pasangan bola yang terhubung batang seperti molekul kovalen, guru harus memperbaikinya.

Prompt visualisasi yang lebih tepat:

"Buat deskripsi visual ikatan ion pada natrium klorida untuk siswa SMA. Visual harus menunjukkan atom Na melepas satu elektron menjadi Na^+, atom Cl menerima satu elektron menjadi Cl^-, lalu ion Na^+ dan Cl^- tersusun dalam kisi kristal ionik tiga dimensi. Tegaskan bahwa NaCl padat bukan molekul tunggal, melainkan susunan banyak ion. Hindari batang ikatan seperti molekul kovalen."

Visualisasi ikatan ion dapat dibuat bertahap:

1. Atom netral Na dan Cl dengan elektron valensi.
2. Pembentukan ion Na^+ dan Cl^-.
3. Gaya tarik elektrostatik antara ion berbeda muatan.
4. Pembentukan kisi ionik.
5. Hubungan kisi ionik dengan titik leleh tinggi dan kerapuhan.
6. Penjelasan daya hantar listrik pada lelehan atau larutan, bukan pada padatan.

AI juga dapat membantu membuat aktivitas siswa:

"Buat LKPD visual tentang ikatan ion NaCl dan MgO. Siswa diminta menggambar elektron valensi, menentukan ion yang terbentuk, menulis rumus empiris, menjelaskan kisi ionik, dan menghubungkan dengan sifat titik leleh serta daya hantar listrik."

Aktivitas seperti ini membuat siswa tidak hanya melihat visual, tetapi membangun representasi sendiri.

5.3.3 AI untuk Memvisualisasikan Ikatan Kovalen

Ikatan kovalen umumnya dijelaskan sebagai pemakaian bersama pasangan elektron antara atom-atom nonlogam. Visualisasi ikatan kovalen dapat menggunakan struktur Lewis, model bola-dan-tongkat, model ruang-isi, atau peta distribusi elektron. Pada tahap awal, struktur Lewis sangat membantu karena menunjukkan elektron valensi dan pasangan elektron ikatan. Namun, struktur Lewis juga merupakan model yang memiliki batas. Struktur Lewis tidak selalu menunjukkan bentuk molekul tiga dimensi, panjang ikatan, energi ikatan, atau distribusi elektron secara lengkap.

AI dapat membantu membuat visualisasi ikatan kovalen secara bertahap. Contoh prompt:

"Buat rancangan visual pembentukan ikatan kovalen pada H_2, Cl_2, HCl, dan H_2O untuk siswa SMA. Visual harus menunjukkan elektron valensi, pasangan elektron yang digunakan bersama, pasangan elektron bebas jika ada, struktur Lewis, dan catatan bahwa garis ikatan merepresentasikan pasangan elektron, bukan batang fisik."

Penjelasan harus menegaskan bahwa “berbagi elektron” bukan berarti elektron diam tepat di tengah dua atom seperti benda kecil yang dipegang bersama. Pasangan elektron dalam ikatan kovalen berada dalam daerah antara inti atom dengan distribusi probabilitas tertentu. Untuk siswa SMA, cukup dijelaskan bahwa pasangan elektron ikatan tertarik oleh dua inti atom sehingga membantu menstabilkan sistem.

AI juga dapat membantu membedakan kovalen tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga. Misalnya:

- H_2 memiliki satu pasangan elektron ikatan.
- O_2 memiliki dua pasangan elektron ikatan dalam model Lewis.
- N_2 memiliki tiga pasangan elektron ikatan dalam model Lewis.

Namun, guru perlu menyesuaikan kedalaman. Pada tingkat lanjut, O_2 memiliki sifat paramagnetik yang tidak dijelaskan dengan baik oleh struktur Lewis sederhana. Hal ini dapat disebut sebagai batas model, bukan dibahas terlalu jauh pada tingkat awal.

5.3.4 AI untuk Memvisualisasikan Kovalen Polar dan Nonpolar

Banyak siswa memahami ikatan kovalen sebagai pemakaian elektron bersama secara sama rata. Padahal, dalam ikatan kovalen polar, pasangan elektron tertarik lebih kuat ke atom yang lebih elektronegatif. Perbedaan keelektronegatifan menghasilkan distribusi muatan parsial. Visualisasi sangat penting agar siswa memahami bahwa kovalen bukan hanya satu jenis, tetapi memiliki variasi polaritas.

AI dapat membantu membuat visual perbandingan kovalen nonpolar dan kovalen polar. Prompt:

“Buat rancangan infografik untuk membandingkan ikatan kovalen nonpolar dan kovalen polar. Gunakan contoh Cl_2 sebagai kovalen nonpolar dan HCl sebagai kovalen polar. Tampilkan perbedaan keelektronegatifan, distribusi pasangan elektron, muatan parsial δ^+ dan δ^-, serta arah dipol. Sertakan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Visual harus menunjukkan bahwa pada Cl_2, kedua atom memiliki keelektronegatifan sama sehingga pasangan elektron relatif terbagi merata. Pada HCl, Cl lebih elektronegatif sehingga pasangan elektron lebih tertarik ke Cl, menghasilkan $H\delta^+$ dan $Cl\delta^-$. Namun, HCl tetap senyawa kovalen polar, bukan ionik penuh.

Visualisasi polaritas ikatan juga perlu dihubungkan dengan polaritas molekul. Molekul dengan ikatan polar belum tentu molekulnya polar jika bentuk geometri membuat dipol saling meniadakan. Misalnya, CO_2 memiliki ikatan C=O polar, tetapi molekul CO_2 linear sehingga resultan dipolnya nol. H_2O memiliki ikatan O–H polar dan bentuk bengkok, sehingga molekulnya polar. AI dapat membantu membuat visual perbandingan ini, tetapi guru perlu memastikan geometri molekul benar.

5.3.5 AI untuk Memvisualisasikan Ikatan Logam

Ikatan logam sering dijelaskan dengan model ion logam positif yang berada dalam lautan elektron terdelokalisasi. Model ini membantu menjelaskan sifat logam seperti daya hantar listrik, daya hantar panas, kilap, dapat ditempa, dan dapat ditarik menjadi kawat. Namun, model "lautan elektron" juga perlu dijelaskan sebagai model sederhana. Elektron dalam logam tidak sekadar berenang seperti benda bebas tanpa aturan; pada tingkat lebih lanjut, ikatan logam dijelaskan melalui teori pita energi dan delokalisasi elektron.

Untuk siswa SMA, model elektron terdelokalisasi cukup membantu. AI dapat membantu membuat visualisasi:

"Buat deskripsi visual ikatan logam untuk siswa SMA. Visual harus menunjukkan kation logam tersusun teratur dan elektron valensi terdelokalisasi yang dapat bergerak melalui struktur. Hubungkan model ini dengan daya hantar listrik, kelenturan, dan kilap logam. Jelaskan bahwa 'lautan elektron' adalah model sederhana."

Visualisasi harus menunjukkan bahwa ketika logam ditempa, lapisan kation logam dapat bergeser tetapi tetap dipertahankan oleh elektron terdelokalisasi, sehingga logam tidak mudah pecah seperti kristal ionik. Untuk daya hantar listrik, visual dapat menunjukkan elektron bergerak terarah ketika diberi beda potensial.

AI juga dapat membantu membuat perbandingan antara padatan ionik dan logam. Padatan ionik rapuh karena pergeseran lapisan dapat mempertemukan ion sejenis sehingga terjadi tolakan. Logam dapat ditempa karena elektron terdelokalisasi mempertahankan gaya tarik di antara kation logam. Visual ini sangat membantu siswa memahami hubungan struktur dan sifat.

5.3.6 AI untuk Membandingkan Ikatan Ion, Kovalen, dan Logam

Siswa sering mempelajari ikatan ion, kovalen, dan logam secara terpisah. Akibatnya, mereka menghafal ciri-ciri tanpa memahami prinsip umum. AI dapat membantu membuat visual perbandingan yang menekankan partikel penyusun, elektron valensi, gaya tarik, struktur, contoh, dan sifat.

Prompt:

"Buat tabel visual perbandingan ikatan ion, ikatan kovalen, dan ikatan logam untuk siswa SMA. Kolom harus memuat partikel penyusun, cara elektron terlibat, gaya tarik utama, struktur zat, contoh, sifat makroskopik, dan miskonsepsi umum."

Tabel dapat memuat:

Jenis Ikatan	Partikel Penyusun	Peran Elektron	Struktur	Sifat Umum
Ion	Kation dan anion	Elektron berpindah membentuk ion	Kisi ionik	Titik leleh tinggi, rapuh, menghantarkan saat lelehan/larutan

Kovalen molekuler	Atom nonlogam dalam molekul	Pasangan elektron digunakan bersama	Molekul diskret	Titik leleh relatif rendah, umumnya tidak menghantarkan
Kovalen jaringan	Atom terikat dalam jaringan luas	Elektron digunakan bersama dalam jaringan	Jaringan kovalen	Sangat keras, titik leleh tinggi
Logam	Kation logam dan elektron terdelokalisasi	Elektron bergerak relatif bebas	Kisi logam	Menghantarkan listrik, dapat ditempa

Perbandingan semacam ini lebih akurat daripada hanya membagi zat menjadi ion-kovalen-logam secara kaku. Guru juga dapat menambahkan bahwa karakter ikatan berada pada spektrum. Banyak ikatan memiliki karakter campuran, dan perbedaan keelektronegatifan hanya salah satu indikator awal.

5.3.7 AI untuk Menjelaskan Spektrum Karakter Ikatan

Pembelajaran awal sering membagi ikatan menjadi ionik dan kovalen secara tegas. Padahal, karakter ikatan dapat dipahami sebagai spektrum. Perbedaan keelektronegatifan besar cenderung menghasilkan karakter ionik lebih kuat, sedangkan perbedaan kecil cenderung menghasilkan karakter kovalen. Namun, klasifikasi ikatan tidak hanya ditentukan oleh satu angka perbedaan keelektronegatifan. Struktur zat, polaritas, energi kisi, dan konteks kimia juga berperan.

AI dapat membantu menjelaskan spektrum ini secara sederhana. Prompt:

“Buat penjelasan visual tentang spektrum karakter ikatan dari kovalen nonpolar, kovalen polar, hingga ionik untuk siswa SMA. Gunakan contoh Cl_2, HCl, dan NaCl. Jelaskan bahwa klasifikasi ikatan adalah model, bukan batas mutlak. Sertakan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Visual dapat berupa garis spektrum:

Kovalen nonpolar → Kovalen polar → Karakter ionik tinggi

Contoh:
Cl_2 → HCl → NaCl

Namun, guru harus berhati-hati agar siswa tidak menganggap semua senyawa dapat diklasifikasikan hanya dengan angka elektronegativitas secara mekanis. Tabel perbedaan elektronegativitas berguna sebagai panduan awal, bukan hukum absolut.

Penjelasan spektrum membantu siswa memahami ikatan kimia secara lebih fleksibel dan ilmiah. Ini juga menjadi jembatan ke konsep polaritas molekul dan gaya antarmolekul.

5.3.8 AI untuk Memvisualisasikan Struktur Lewis

Struktur Lewis merupakan alat utama untuk memvisualisasikan elektron valensi, pasangan elektron ikatan, dan pasangan elektron bebas. AI dapat membantu guru membuat langkah-langkah penyusunan struktur Lewis, latihan, dan visual. Namun, AI juga dapat salah menggambar struktur Lewis, terutama pada molekul dengan resonansi, muatan formal, atau oktet diperluas. Guru perlu memvalidasi.

Prompt:

"Buat panduan bertahap menyusun struktur Lewis untuk siswa SMA. Gunakan contoh H_2O, CO_2, NH_3, CH_4, HCl, O_2, N_2, dan CO_3^{2-}. Jelaskan jumlah elektron valensi, atom pusat, pembentukan ikatan, pasangan elektron bebas, pengecekan oktet/duet, dan muatan formal untuk contoh yang relevan. Sertakan kesalahan umum."

Untuk tingkat awal, guru dapat memulai dari molekul sederhana sebelum masuk resonansi. Struktur Lewis membantu siswa memahami geometri molekul dan VSEPR. Namun, guru perlu menegaskan bahwa struktur Lewis adalah representasi dua dimensi. Bentuk molekul tiga dimensi memerlukan teori VSEPR atau model lain.

Kesalahan umum dalam struktur Lewis antara lain:

1. Salah menghitung elektron valensi.
2. Menempatkan hidrogen sebagai atom pusat.
3. Mengabaikan pasangan elektron bebas.
4. Menggambar ikatan rangkap tanpa alasan.
5. Tidak memperhatikan muatan ion.
6. Menganggap struktur Lewis menunjukkan bentuk 3D secara langsung.

AI dapat membantu membuat latihan "temukan kesalahan struktur Lewis". Aktivitas ini efektif untuk pembelajaran.

5.3.9 AI untuk Menjelaskan Resonansi secara Visual

Resonansi sering menimbulkan miskonsepsi. Siswa dapat mengira bahwa molekul berosilasi cepat antara beberapa struktur Lewis, seolah-olah struktur berpindah-pindah. Konsep yang lebih tepat adalah bahwa struktur resonansi merupakan beberapa representasi Lewis yang berkontribusi terhadap struktur nyata, sedangkan struktur nyata adalah hibrida resonansi. Elektron tertentu terdelokalisasi, bukan berpindah bolak-balik seperti sakelar sederhana.

AI dapat membantu membuat penjelasan visual resonansi dengan hati-hati. Prompt:

"Buat penjelasan visual tentang resonansi pada ion karbonat CO_3^{2-} untuk siswa SMA/mahasiswa awal. Jelaskan bahwa struktur resonansi bukan perubahan bolak-balik antarstruktur, melainkan beberapa struktur Lewis yang berkontribusi pada hibrida resonansi. Tampilkan tiga struktur resonansi, muatan formal, delokalisasi elektron, dan miskonsepsi yang perlu dihindari."

Guru perlu menyesuaikan kedalaman dengan jenjang. Untuk SMA, cukup menekankan bahwa beberapa ikatan dalam ion tertentu tidak dapat dijelaskan hanya dengan satu struktur Lewis. Untuk mahasiswa, dapat ditambahkan muatan formal dan panjang ikatan setara.

AI dapat membantu membuat analogi terbatas, misalnya foto campuran bukan pergantian cepat. Namun, analogi harus diberi batas agar tidak menyesatkan.

5.3.10 AI untuk Memvisualisasikan Hubungan Ikatan dan Energi

Ikatan kimia berkaitan erat dengan energi. Pembentukan ikatan biasanya melepaskan energi karena sistem menjadi lebih stabil, sedangkan pemutusan ikatan memerlukan energi. Namun, siswa sering memiliki miskonsepsi bahwa "memutus ikatan melepaskan energi". Kesalahan ini dapat terjadi karena siswa mendengar bahwa reaksi eksoterm "menghasilkan energi" tanpa memahami bahwa energi total reaksi bergantung pada perbandingan energi yang diperlukan untuk memutus ikatan dan energi yang dilepaskan saat membentuk ikatan baru.

AI dapat membantu membuat diagram energi ikatan. Prompt:

"Buat visual konseptual tentang hubungan energi dan ikatan kimia untuk siswa SMA. Jelaskan bahwa memutus ikatan memerlukan energi, sedangkan membentuk ikatan melepaskan energi. Gunakan diagram sederhana dan contoh reaksi $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$. Sertakan miskonsepsi yang perlu dihindari."

Visual harus menegaskan:

1. Ikatan tidak "menyimpan energi" dalam arti energi keluar saat diputus.
2. Pemutusan ikatan membutuhkan energi.
3. Pembentukan ikatan melepaskan energi.
4. Reaksi eksoterm terjadi jika energi yang dilepaskan saat pembentukan ikatan lebih besar daripada energi yang diperlukan untuk pemutusan ikatan.
5. Reaksi endoterm terjadi jika sebaliknya.

Konsep ini penting untuk termokimia dan mekanisme reaksi. Visualisasi yang tepat dapat mencegah miskonsepsi yang sangat umum.

5.3.11 AI untuk Memvisualisasikan Ikatan Koordinasi

Ikatan koordinasi atau ikatan kovalen koordinasi terjadi ketika pasangan elektron yang digunakan bersama berasal dari satu atom donor. Dalam pembelajaran awal, konsep ini dapat dijelaskan pada contoh NH_4^+ atau H_3O^+. Namun, visualisasi harus hati-hati agar siswa tidak menganggap ikatan koordinasi berbeda total dari ikatan kovalen biasa setelah terbentuk. Setelah terbentuk, ikatan koordinasi bersifat kovalen; perbedaannya terletak pada asal pasangan elektron saat pembentukan.

Prompt:

“Buat penjelasan visual tentang ikatan kovalen koordinasi pada pembentukan NH_4^+ dari NH_3 dan H^+ untuk siswa SMA. Tampilkan pasangan elektron bebas pada N yang didonasikan ke H^+, pembentukan ikatan N–H, dan catatan bahwa setelah terbentuk, ikatan tersebut merupakan ikatan kovalen. Sertakan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Visual dapat menunjukkan:

1. NH_3 memiliki pasangan elektron bebas pada N.
2. H^+ tidak memiliki elektron.
3. N mendonasikan pasangan elektron untuk membentuk ikatan dengan H^+.
4. Terbentuk NH_4^+.
5. Semua ikatan N–H dalam NH_4^+ dapat dipandang setara dalam struktur akhir.

Konsep ini dapat menjadi jembatan menuju kimia koordinasi pada jenjang lebih lanjut.

5.3.12 AI untuk Memvisualisasikan Jaringan Kovalen

Jaringan kovalen seperti berlian, grafit, silikon dioksida, dan silikon karbida memiliki struktur luas yang tidak terdiri atas molekul diskret kecil. Siswa sering menyamakan semua zat kovalen dengan molekul sederhana bertitik leleh rendah. Padahal, jaringan kovalen memiliki titik leleh sangat tinggi dan sifat khas karena atom-atom terikat dalam jaringan besar.

AI dapat membantu membuat visual perbandingan antara molekul kovalen dan jaringan kovalen. Prompt:

“Buat rancangan visual yang membandingkan molekul kovalen sederhana dan jaringan kovalen. Gunakan contoh CO_2 sebagai molekul kovalen dan berlian/grafit sebagai jaringan kovalen. Jelaskan perbedaan struktur, jenis ikatan, sifat titik leleh, kekerasan, dan daya hantar. Sertakan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Visual jaringan kovalen harus menunjukkan bahwa berlian memiliki jaringan tetrahedral tiga dimensi atom C, sedangkan grafit memiliki lembaran atom C dengan elektron terdelokalisasi pada lapisan. Ini menjelaskan mengapa berlian sangat keras, sedangkan grafit dapat digunakan sebagai bahan pensil dan dapat menghantarkan listrik sepanjang lapisan.

AI dapat membantu membuat penjelasan sederhana, tetapi visual struktur grafit dan berlian sebaiknya divalidasi dengan sumber kimia atau perangkat molekul.

5.3.13 AI untuk Menghubungkan Ikatan Kimia dengan Sifat Fisik Zat

Salah satu tujuan utama mempelajari ikatan kimia adalah menjelaskan sifat fisik zat. AI dapat membantu membuat bahan visual yang menghubungkan jenis ikatan, struktur, dan sifat. Misalnya:

- Titik leleh.
- Titik didih.
- Kelarutan.

- Daya hantar listrik.
- Kekerasan.
- Kerapuhan.
- Kelenturan.
- Polaritas.
- Wujud pada suhu ruang.

Prompt:

“Buat aktivitas visual untuk menghubungkan jenis ikatan dan sifat zat. Siswa diberi beberapa zat: NaCl, H_2O, CO_2, Cu, berlian, grafit, dan gula. Mereka diminta mengidentifikasi struktur partikel, jenis ikatan/gaya dominan, sifat fisik, dan alasan pada level partikel. Sertakan tabel kerja dan kunci.”

Aktivitas ini membantu siswa memahami bahwa sifat zat muncul dari struktur dan interaksi partikel. Misalnya, gula sebagai senyawa kovalen molekuler dapat larut dalam air tetapi tidak menghantarkan listrik karena tidak menghasilkan ion. Tembaga menghantarkan listrik karena elektron terdelokalisasi dalam logam. CO_2 berupa molekul kecil nonpolar sehingga berwujud gas pada suhu ruang.

Dengan visual dan tabel, siswa dapat mengintegrasikan konsep ikatan dengan sifat materi.

5.3.14 AI untuk Menyusun Animasi Konseptual Pembentukan Ikatan

Animasi dapat membantu menjelaskan proses pembentukan ikatan secara dinamis. Namun, animasi ikatan kimia harus hati-hati karena proses ikatan tidak selalu terjadi seperti “atom datang, menyerahkan elektron, lalu menempel”. Model animasi harus dipahami sebagai penyederhanaan.

AI dapat membantu membuat storyboard animasi. Prompt:

“Buat storyboard animasi 90 detik tentang pembentukan ikatan ion NaCl untuk siswa SMA. Animasi harus dimulai dari atom Na dan Cl dengan elektron valensi, menunjukkan pembentukan Na^+ dan Cl^-, gaya tarik elektrostatik, lalu susunan kisi ionik. Sertakan narasi, label, dan catatan batas model.”

Untuk ikatan kovalen:

“Buat storyboard animasi 60 detik tentang pembentukan ikatan kovalen H_2. Tampilkan dua atom H yang mendekat, tumpang tindih daerah elektron, pasangan elektron yang tertarik oleh dua inti, dan terbentuknya molekul H_2. Jelaskan bahwa garis ikatan adalah simbol pasangan elektron, bukan batang fisik.”

Storyboard membantu guru merancang animasi yang pedagogis. Jika menggunakan AI generatif

video, guru tetap perlu memvalidasi hasilnya.

5.3.15 AI untuk Membuat Asesmen Visual Ikatan Kimia

Visualisasi ikatan kimia juga dapat dijadikan asesmen. Siswa dapat diminta menafsirkan gambar, memperbaiki visual salah, menggambar struktur Lewis, mencocokkan model dengan sifat zat, atau menjelaskan hubungan struktur-sifat.

Prompt:

"Buat asesmen visual tentang ikatan kimia untuk siswa SMA. Soal harus mencakup: menafsirkan model kisi ionik, membedakan struktur Lewis molekul kovalen, mengidentifikasi model ikatan logam, memperbaiki visual NaCl yang salah sebagai molekul tunggal, dan menjelaskan hubungan ikatan dengan daya hantar listrik. Sertakan kunci dan rubrik."

Contoh soal visual:

"Sebuah gambar menunjukkan padatan NaCl sebagai satu molekul Na—Cl dengan satu batang penghubung. Jelaskan mengapa visual tersebut kurang tepat dan buat deskripsi visual yang lebih benar."

Jawaban ideal: NaCl padat bukan molekul diskret Na—Cl, melainkan kisi ionik yang tersusun dari banyak ion Na^+ dan Cl^- dengan gaya tarik elektrostatik. Rumus NaCl menunjukkan perbandingan ion, bukan satu molekul tunggal.

Asesmen seperti ini melatih literasi visual kimia.

5.3.16 AI untuk Mengembangkan Aktivitas Koreksi Miskonsepsi Ikatan Kimia

AI dapat membantu guru membuat aktivitas koreksi miskonsepsi. Guru dapat memberikan pernyataan atau visual yang salah, lalu meminta siswa memperbaikinya. Aktivitas ini efektif karena siswa belajar membedakan model benar dan salah.

Prompt:

"Buat aktivitas koreksi miskonsepsi tentang ikatan kimia. Berikan 8 pernyataan salah atau visual salah yang umum, lalu minta siswa mengidentifikasi kesalahan dan menulis perbaikan. Topik mencakup ikatan ion, kovalen, logam, struktur Lewis, polaritas, dan energi ikatan. Sertakan kunci dan pembahasan."

Contoh pernyataan salah:

1. NaCl padat tersusun atas molekul-molekul NaCl.
2. Ikatan kovalen adalah batang fisik yang menyambungkan atom.
3. Semua senyawa kovalen memiliki titik leleh rendah.
4. Elektron dalam ikatan kovalen selalu dibagi sama rata.
5. Memutus ikatan kimia melepaskan energi.
6. Ikatan logam terjadi karena atom logam saling berbagi pasangan elektron seperti kovalen.

7. Ikatan ion hanya terjadi ketika satu atom secara fisik menyerahkan elektron pada satu atom lain.
8. CO_2 adalah molekul polar karena memiliki ikatan C=O polar.

Siswa diminta memperbaiki. Aktivitas ini membantu memperkuat konsep inti.

5.3.17 Validasi Visualisasi Ikatan Kimia Berbantuan AI

Visualisasi ikatan kimia harus divalidasi sebelum digunakan. Daftar cek validasi dapat mencakup:

1. Apakah jenis ikatan dijelaskan sesuai konsep?
2. Apakah struktur ionik tidak digambarkan sebagai molekul diskret?
3. Apakah ikatan kovalen tidak digambarkan sebagai batang fisik tanpa penjelasan?
4. Apakah elektron valensi ditampilkan dengan benar?
5. Apakah struktur Lewis benar?
6. Apakah muatan ion benar?
7. Apakah polaritas ikatan dan molekul dibedakan?
8. Apakah ikatan logam dijelaskan sebagai model elektron terdelokalisasi?
9. Apakah hubungan struktur-sifat tepat?
10. Apakah energi ikatan dijelaskan benar?
11. Apakah batas model dijelaskan?
12. Apakah visual sesuai jenjang siswa?

Prompt validasi:

“Tinjau visualisasi ikatan kimia berikut. Periksa akurasi konsep, struktur partikel, muatan ion, representasi elektron, polaritas, hubungan struktur-sifat, potensi miskonsepsi, dan kesesuaian untuk siswa SMA. Berikan revisi konkret.”

Guru harus memeriksa hasil AI secara manual. Untuk struktur yang kompleks, gunakan sumber kimia atau perangkat pemodelan yang valid.

5.3.18 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu menguasai visualisasi ikatan kimia karena topik ini menjadi dasar banyak materi lanjutan. Guru harus mampu memilih model visual yang tepat, menjelaskan batas model, dan menghindari miskonsepsi. Dalam penggunaan AI, guru perlu menulis prompt yang spesifik dan memvalidasi hasil visual. Guru juga perlu mengajarkan kepada siswa bahwa model ikatan adalah representasi ilmiah, bukan gambar literal dunia mikroskopik.

Calon guru kimia perlu dilatih membuat dan memvalidasi visual ikatan kimia berbantuan AI. Mereka dapat diminta membuat visual pembentukan ikatan ion, kovalen, dan logam, lalu mengidentifikasi potensi miskonsepsi. Mereka juga dapat diminta membandingkan visual AI dengan model dari buku teks atau perangkat kimia.

Contoh tugas:

“Gunakan AI untuk membuat rancangan visual pembelajaran ikatan ion, kovalen, dan logam. Setelah itu, validasi setiap visual dari aspek akurasi konsep, batas model, miskonsepsi, dan hubungan struktur-sifat. Revisi visual dan jelaskan alasan revisi.”

Tugas ini melatih calon guru menggunakan AI secara kritis dan pedagogis.

Dengan demikian, AI dapat membantu memvisualisasikan ikatan kimia melalui diagram, struktur Lewis, model partikel, infografik, animasi, tabel perbandingan, dan aktivitas koreksi miskonsepsi. Namun, visualisasi ikatan kimia harus selalu divalidasi karena sangat rentan menimbulkan kesalahan pemahaman. Visual yang baik harus menunjukkan hubungan antara elektron valensi, gaya tarik, struktur partikel, jenis ikatan, energi, dan sifat zat. AI dapat mempercepat desain visual, tetapi guru tetap menjadi penentu akurasi, relevansi, dan kualitas pedagogisnya.

5.4 AI untuk Menjelaskan Geometri Molekul dan Teori VSEPR

Geometri molekul merupakan konsep penting dalam kimia karena bentuk tiga dimensi molekul sangat memengaruhi sifat fisik, sifat kimia, polaritas, gaya antarmolekul, reaktivitas, titik didih, kelarutan, interaksi biologis, dan fungsi material. Molekul tidak hanya terdiri atas atom-atom yang terhubung melalui ikatan, tetapi juga memiliki susunan ruang tertentu. Susunan ruang ini menentukan bagaimana awan elektron tersebar, bagaimana molekul berinteraksi dengan molekul lain, dan bagaimana molekul berperan dalam reaksi kimia. Oleh karena itu, pembelajaran geometri molekul tidak cukup hanya dengan menggambar struktur Lewis dua dimensi; peserta didik harus dibantu memahami bentuk molekul secara tiga dimensi.

Salah satu teori yang paling banyak digunakan untuk memperkenalkan geometri molekul di tingkat sekolah menengah dan awal perguruan tinggi adalah teori VSEPR, atau *Valence Shell Electron Pair Repulsion*. Teori ini menyatakan bahwa pasangan elektron di sekitar atom pusat akan menata diri sedemikian rupa agar gaya tolak-menolak antarpasangan elektron menjadi sekecil mungkin. Pasangan elektron ikatan dan pasangan elektron bebas sama-sama memengaruhi bentuk molekul. Namun, pasangan elektron bebas biasanya memberi tolakan lebih kuat daripada pasangan elektron ikatan karena lebih terlokalisasi di sekitar atom pusat. Konsep inilah yang menjelaskan mengapa CH_4 berbentuk tetrahedral, NH_3 berbentuk piramida trigonal, dan H_2O berbentuk bengkok, meskipun ketiganya memiliki empat domain elektron di sekitar atom pusat.

AI dapat membantu guru menjelaskan geometri molekul dan teori VSEPR melalui visualisasi, tabel bentuk molekul, diagram domain elektron, model tiga dimensi, analogi terbatas, simulasi rotasi molekul, latihan prediksi bentuk, dan kegiatan koreksi miskonsepsi. AI juga dapat membantu menyusun prompt untuk membuat gambar atau model molekul yang menunjukkan posisi atom, pasangan elektron bebas, sudut ikatan, dan polaritas molekul. Namun, guru harus sangat berhati-hati karena visualisasi geometri molekul yang salah dapat menimbulkan miskonsepsi serius. Misalnya, siswa dapat mengira bahwa struktur Lewis selalu menunjukkan bentuk molekul, atau bahwa pasangan elektron bebas terlihat sebagai atom, atau bahwa semua molekul dengan ikatan polar pasti molekul polar.

Geometri molekul perlu diajarkan secara bertahap. Tahap pertama adalah memahami struktur Lewis. Tahap kedua adalah menentukan atom pusat. Tahap ketiga adalah menghitung jumlah

domain elektron di sekitar atom pusat. Tahap keempat adalah membedakan geometri domain elektron dan bentuk molekul. Tahap kelima adalah mempertimbangkan keberadaan pasangan elektron bebas. Tahap keenam adalah memperkirakan sudut ikatan. Tahap ketujuh adalah menghubungkan bentuk molekul dengan polaritas. Tahap kedelapan adalah menghubungkan bentuk molekul dengan sifat dan fungsi molekul. AI dapat membantu menyusun alur ini agar pembelajaran lebih sistematis.

5.4.1 Pentingnya Geometri Molekul dalam Pembelajaran Kimia

Geometri molekul menjelaskan susunan atom dalam ruang tiga dimensi. Dua molekul yang memiliki jenis atom dan ikatan tertentu dapat memiliki sifat berbeda karena bentuknya berbeda. Bentuk molekul menentukan arah momen dipol, kemampuan membentuk gaya antarmolekul, orientasi reaksi, kecocokan molekul dengan situs aktif enzim, sifat bahan, dan interaksi dalam sistem biologis maupun material. Dalam kimia organik, bentuk molekul menentukan stereokimia dan reaktivitas. Dalam biokimia, bentuk molekul menentukan pengenalan molekul. Dalam kimia komputasi, geometri molekul menjadi dasar optimasi struktur dan prediksi sifat.

Dalam pembelajaran kimia dasar, geometri molekul membantu siswa memahami mengapa CO_2 bersifat nonpolar, sedangkan H_2O bersifat polar. Keduanya memiliki ikatan polar, tetapi bentuk molekulnya berbeda. CO_2 berbentuk linear sehingga momen dipol ikatan saling meniadakan. H_2O berbentuk bengkok sehingga momen dipol tidak saling meniadakan. Tanpa pemahaman geometri molekul, siswa dapat membuat kesimpulan keliru bahwa semua molekul yang memiliki ikatan polar pasti bersifat polar.

Geometri molekul juga membantu menjelaskan perbedaan sudut ikatan. CH_4 memiliki sudut ikatan sekitar 109,5° karena empat pasangan elektron ikatan tersusun tetrahedral. NH_3 memiliki sudut sekitar 107° karena satu pasangan elektron bebas menekan pasangan elektron ikatan. H_2O memiliki sudut sekitar 104,5° karena dua pasangan elektron bebas memberi tolakan lebih besar. Visualisasi sangat penting agar siswa memahami mengapa bentuk molekul tidak datar seperti gambar Lewis.

AI dapat membantu guru membuat visual perbandingan CH_4, NH_3, dan H_2O. Contoh prompt:

“Buat rancangan visual perbandingan geometri molekul CH_4, NH_3, dan H_2O berdasarkan teori VSEPR. Tampilkan jumlah domain elektron, jumlah pasangan elektron bebas, geometri domain elektron, bentuk molekul, sudut ikatan perkiraan, dan alasan perubahan sudut. Gunakan bahasa siswa SMA dan sertakan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Visual semacam ini membantu siswa melihat pola umum dan perbedaan halus akibat pasangan elektron bebas.

5.4.2 Hakikat Teori VSEPR

Teori VSEPR didasarkan pada gagasan bahwa pasangan elektron valensi di sekitar atom pusat saling tolak-menolak. Agar tolakan minimum, pasangan elektron menempati posisi sejauh mungkin satu sama lain. Domain elektron dapat berupa ikatan tunggal, ikatan rangkap, ikatan

rangkap tiga, atau pasangan elektron bebas. Dalam VSEPR, satu ikatan rangkap tetap dihitung sebagai satu domain elektron karena menempati satu daerah kepadatan elektron di sekitar atom pusat.

Konsep domain elektron sangat penting. Siswa sering salah menghitung ikatan rangkap sebagai dua domain elektron dalam menentukan bentuk. Misalnya, CO_2 memiliki dua ikatan rangkap C=O, tetapi di sekitar atom C terdapat dua domain elektron, sehingga geometri domain elektron dan bentuk molekulnya linear. Jika siswa menghitung setiap ikatan rangkap sebagai dua domain, mereka akan salah memprediksi bentuk.

AI dapat membantu membuat latihan penghitungan domain elektron. Contoh prompt:

"Buat latihan menentukan jumlah domain elektron di sekitar atom pusat untuk molekul $BeCl_2$, BF_3, CH_4, NH_3, H_2O, CO_2, SO_2, PCl_5, dan SF_6. Sertakan struktur Lewis sederhana, jumlah domain elektron, jumlah pasangan elektron bebas, geometri domain elektron, dan bentuk molekul."

Guru harus memvalidasi hasil, terutama untuk molekul yang melibatkan resonansi, oktet diperluas, atau pengecualian. Untuk tahap awal, contoh sederhana lebih dianjurkan agar siswa memahami prinsip dasar.

Teori VSEPR merupakan model prediktif yang berguna, tetapi tetap memiliki batas. VSEPR tidak menjelaskan semua detail ikatan, energi, panjang ikatan, atau struktur elektronik secara kuantitatif. Untuk analisis yang lebih presisi, diperlukan teori orbital molekul, hibridisasi, kristalografi, spektroskopi, atau perhitungan kimia komputasi. Namun, sebagai model pembelajaran awal, VSEPR sangat efektif.

5.4.3 Geometri Domain Elektron dan Bentuk Molekul

Dalam pembelajaran VSEPR, guru perlu membedakan geometri domain elektron dan bentuk molekul. Geometri domain elektron menunjukkan susunan semua domain elektron di sekitar atom pusat, baik pasangan elektron ikatan maupun pasangan elektron bebas. Bentuk molekul menunjukkan susunan atom-atom dalam molekul, biasanya tidak menampilkan pasangan elektron bebas sebagai atom. Perbedaan ini penting karena pasangan elektron bebas memengaruhi bentuk, tetapi tidak terlihat sebagai atom dalam bentuk molekul.

Contoh utama adalah NH_3 dan H_2O. NH_3 memiliki empat domain elektron di sekitar N: tiga pasangan elektron ikatan dan satu pasangan elektron bebas. Geometri domain elektronnya tetrahedral, tetapi bentuk molekulnya piramida trigonal. H_2O memiliki empat domain elektron di sekitar O: dua pasangan elektron ikatan dan dua pasangan elektron bebas. Geometri domain elektronnya tetrahedral, tetapi bentuk molekulnya bengkok.

AI dapat membantu menyusun tabel perbedaan:

"Buat tabel perbandingan geometri domain elektron dan bentuk molekul untuk $BeCl_2$, BF_3, CH_4, NH_3, H_2O, PCl_5, SF_6, dan XeF_4. Kolom: atom pusat, jumlah domain elektron, pasangan elektron

bebas, geometri domain elektron, bentuk molekul, sudut ikatan perkiraan, dan contoh visual verbal."

Tabel semacam ini sangat membantu. Namun, guru harus memastikan istilah tidak tertukar. Kesalahan umum adalah menyebut NH_3 "tetrahedral" tanpa membedakan bahwa yang tetrahedral adalah geometri domain elektronnya, sedangkan bentuk molekulnya piramida trigonal.

Pembelajaran perlu menekankan bahwa pasangan elektron bebas "tidak terlihat sebagai atom", tetapi tetap memengaruhi susunan atom. Visualisasi dapat menampilkan pasangan elektron bebas sebagai lobus atau titik di sekitar atom pusat dengan label yang jelas.

5.4.4 AI untuk Menyusun Visual Bentuk Molekul Dasar

AI dapat membantu guru menyusun visual bentuk molekul dasar berdasarkan jumlah domain elektron. Bentuk-bentuk dasar yang umum dipelajari meliputi linear, trigonal planar, tetrahedral, piramida trigonal, bengkok, trigonal bipiramidal, seesaw, T-shaped, linear pada lima domain dengan tiga pasangan bebas, oktahedral, piramida segiempat, dan planar segiempat. Namun, untuk SMA, guru dapat memilih bentuk yang sesuai kurikulum dan tidak terlalu membebani siswa.

Prompt visual:

"Buat rancangan visual tabel bentuk molekul VSEPR untuk siswa SMA. Sertakan contoh molekul $BeCl_2$, BF_3, CH_4, NH_3, H_2O, CO_2, PCl_5, SF_6, dan XeF_4. Tampilkan jumlah domain elektron, pasangan elektron bebas, bentuk molekul, sudut ikatan, dan catatan miskonsepsi."

Visual tabel ini dapat digunakan sebagai peta awal. Namun, guru perlu menghindari pembelajaran yang hanya menghafal tabel. Siswa harus memahami cara menurunkan bentuk dari struktur Lewis dan jumlah domain elektron.

AI juga dapat membantu membuat prompt gambar yang aman:

"Buat ilustrasi edukatif bentuk molekul CH_4, NH_3, dan H_2O. Tampilkan atom pusat, atom terikat, pasangan elektron bebas sebagai lobus transparan, dan sudut ikatan perkiraan. Beri label jelas. Jangan menggambar molekul sebagai struktur datar dua dimensi."

Jika menggunakan gambar AI, guru harus memeriksa posisi atom, sudut, dan label. Untuk akurasi tinggi, lebih baik menggunakan perangkat model molekul seperti Avogadro, Jmol/JSmol, MolView, atau perangkat visualisasi kimia lainnya.

5.4.5 AI untuk Menjelaskan Sudut Ikatan dan Pengaruh Pasangan Elektron Bebas

Sudut ikatan adalah aspek penting dalam geometri molekul. Dalam model VSEPR, pasangan elektron bebas cenderung memberikan tolakan lebih kuat daripada pasangan elektron ikatan. Urutan tolakan sering dijelaskan sebagai: pasangan bebas–pasangan bebas lebih besar daripada pasangan bebas–pasangan ikatan, dan pasangan bebas–pasangan ikatan lebih besar daripada

pasangan ikatan–pasangan ikatan. Akibatnya, pasangan elektron bebas dapat menekan sudut ikatan.

Contoh klasik adalah CH_4, NH_3, dan H_2O. CH_4 memiliki empat pasangan elektron ikatan dan sudut H–C–H sekitar 109,5°. NH_3 memiliki satu pasangan elektron bebas pada N, sehingga sudut H–N–H lebih kecil, sekitar 107°. H_2O memiliki dua pasangan elektron bebas pada O, sehingga sudut H–O–H lebih kecil lagi, sekitar 104,5°.

AI dapat membantu membuat penjelasan visual:

“Jelaskan secara visual mengapa sudut ikatan CH_4, NH_3, dan H_2O berbeda meskipun semuanya memiliki empat domain elektron. Gunakan teori VSEPR, pasangan elektron bebas, urutan kekuatan tolakan, dan tabel perbandingan. Hindari penjelasan bahwa atom H saling menolak secara utama; tekankan tolakan domain elektron.”

Penjelasan harus menekankan bahwa VSEPR berfokus pada tolakan domain elektron di sekitar atom pusat. Siswa sering mengira bentuk molekul ditentukan terutama oleh tolakan antaratom. Padahal, model VSEPR menekankan tolakan pasangan elektron.

Guru juga dapat meminta AI membuat soal formatif:

“Mengapa sudut H–O–H dalam H_2O lebih kecil daripada sudut H–C–H dalam CH_4? Buat jawaban ideal, jawaban miskonsepsi, dan umpan balik.”

5.4.6 AI untuk Menjelaskan Polaritas Molekul melalui Geometri

Polaritas molekul tidak hanya ditentukan oleh polaritas ikatan, tetapi juga oleh bentuk molekul. Molekul dengan ikatan polar dapat bersifat nonpolar jika momen dipol ikatan tersusun simetris dan saling meniadakan. Sebaliknya, molekul dengan bentuk tidak simetris dapat bersifat polar jika resultan momen dipol tidak nol.

Contoh penting adalah CO_2 dan H_2O. CO_2 memiliki dua ikatan C=O yang polar, tetapi molekulnya linear sehingga momen dipol saling meniadakan. H_2O memiliki dua ikatan O–H yang polar dan bentuk bengkok, sehingga momen dipol tidak saling meniadakan. BF_3 memiliki ikatan B–F polar, tetapi bentuk trigonal planar simetris sehingga molekulnya nonpolar. NH_3 berbentuk piramida trigonal dan memiliki resultan dipol, sehingga polar.

AI dapat membantu membuat visual arah dipol:

“Buat rancangan visual untuk menjelaskan hubungan geometri molekul dan polaritas. Bandingkan CO_2, H_2O, BF_3, NH_3, CCl_4, dan CH_3Cl. Tampilkan bentuk molekul, polaritas ikatan, arah momen dipol, resultan dipol, dan kesimpulan polar/nonpolar.”

Visual seperti ini sangat membantu karena siswa sering menyimpulkan polaritas hanya dari jenis ikatan. Guru harus mengajarkan langkah:

1. Gambar struktur Lewis.
2. Tentukan bentuk molekul.
3. Identifikasi polaritas ikatan.
4. Tentukan arah dipol ikatan.
5. Lihat apakah dipol saling meniadakan.
6. Simpulkan polaritas molekul.

AI dapat membantu membuat latihan bertahap berdasarkan langkah ini.

5.4.7 AI untuk Menyusun Aktivitas Prediksi Bentuk Molekul

Pembelajaran geometri molekul akan lebih bermakna jika siswa memprediksi bentuk, bukan hanya melihat tabel. AI dapat membantu membuat LKPD atau aktivitas kelas. Aktivitas dapat dimulai dari struktur Lewis, lalu menentukan domain elektron, pasangan elektron bebas, geometri domain elektron, bentuk molekul, sudut ikatan, dan polaritas.

Prompt:

"Buat LKPD prediksi bentuk molekul berdasarkan teori VSEPR untuk siswa SMA. Molekul yang digunakan: CO_2, BF_3, CH_4, NH_3, H_2O, SO_2, PCl_5, SF_6, dan XeF_4. LKPD harus memuat langkah: menggambar struktur Lewis, menentukan atom pusat, menghitung domain elektron, menentukan pasangan elektron bebas, menentukan bentuk molekul, memperkirakan sudut ikatan, dan menentukan polaritas. Sertakan tabel kerja dan kunci guru."

LKPD seperti ini membantu siswa menguasai prosedur berpikir. Guru dapat memberi beberapa molekul sederhana terlebih dahulu, lalu meningkat ke molekul yang lebih kompleks. Untuk siswa yang belum belajar oktet diperluas, PCl_5, SF_6, dan XeF_4 dapat digunakan sebagai pengayaan atau disesuaikan dengan kurikulum.

AI juga dapat membuat aktivitas kartu:

"Buat aktivitas kartu cocokkan untuk teori VSEPR. Kartu berisi rumus molekul, struktur Lewis, jumlah domain elektron, bentuk molekul, dan polaritas. Siswa harus mencocokkan kartu yang sesuai."

Aktivitas visual dan manipulatif membantu siswa memahami bentuk molekul secara lebih aktif.

5.4.8 AI untuk Membuat Model Tiga Dimensi Molekul

Model tiga dimensi sangat membantu karena struktur Lewis hanya dua dimensi. AI dapat membantu memberi instruksi pembuatan model molekul dengan bahan sederhana atau software. Guru dapat meminta AI membuat panduan menggunakan plastisin, tusuk gigi, bola styrofoam, atau aplikasi digital.

Prompt:

“Buat panduan aktivitas membuat model 3D molekul CH_4, NH_3, H_2O, CO_2, dan BF_3 menggunakan bola dan stik untuk siswa SMA. Panduan harus menjelaskan bentuk molekul, sudut ikatan perkiraan, pasangan elektron bebas, dan keterbatasan model bola-stik.”

Dalam model fisik, pasangan elektron bebas sering tidak ditampilkan. Guru perlu menjelaskan bahwa pasangan elektron bebas tetap ada dan memengaruhi bentuk. Jika memungkinkan, pasangan elektron bebas dapat direpresentasikan dengan bola kecil atau lobus berbeda warna, tetapi harus diberi label.

Untuk software:

“Buat panduan menggunakan aplikasi visualisasi molekul sederhana untuk melihat bentuk CH_4, NH_3, H_2O, CO_2, dan CCl_4. Sertakan pertanyaan pengamatan tentang bentuk, sudut, simetri, dan polaritas.”

AI dapat membantu membuat panduan, tetapi visual 3D sebaiknya dibuat dengan software kimia yang valid agar bentuk dan sudut lebih akurat.

5.4.9 AI untuk Menjelaskan Perbedaan Struktur Lewis, Geometri, dan Model Molekul

Siswa sering mencampuradukkan struktur Lewis, geometri domain elektron, bentuk molekul, dan model molekul. Guru perlu menjelaskan bahwa struktur Lewis menunjukkan konektivitas atom dan elektron valensi dalam dua dimensi. Geometri molekul menunjukkan susunan atom dalam ruang tiga dimensi. Model bola-dan-tongkat membantu melihat konektivitas dan orientasi, tetapi tidak menunjukkan ukuran ruang atom secara realistis. Model ruang-isi lebih menunjukkan volume relatif atom, tetapi ikatan tidak terlihat sebagai batang.

AI dapat membantu membuat tabel perbandingan:

“Buat tabel perbandingan struktur Lewis, geometri molekul VSEPR, model bola-dan-tongkat, dan model ruang-isi. Kolom: apa yang ditampilkan, manfaat, keterbatasan, contoh penggunaan, dan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Tabel ini membantu siswa memahami bahwa setiap representasi memiliki fungsi dan batas. Tidak ada satu model yang menunjukkan semua aspek molekul secara sempurna. Dalam kimia, kemampuan memahami batas model sama pentingnya dengan menggunakan model.

Guru dapat menambahkan aktivitas:

“Siswa diberi struktur Lewis H_2O, model bola-stik H_2O, dan model ruang-isi H_2O. Mereka diminta menjelaskan informasi apa yang terlihat pada masing-masing model dan apa yang tidak terlihat.”

Aktivitas ini melatih literasi representasi kimia.

5.4.10 AI untuk Mengatasi Miskonsepsi Geometri Molekul

Beberapa miskonsepsi umum dalam geometri molekul antara lain:

1. Struktur Lewis dianggap sama dengan bentuk molekul nyata.
2. Semua molekul digambarkan datar karena struktur Lewis datar.
3. Pasangan elektron bebas tidak memengaruhi bentuk karena tidak terlihat sebagai atom.
4. Ikatan rangkap dihitung sebagai dua domain elektron dalam VSEPR.
5. Molekul dengan ikatan polar pasti molekul polar.
6. Bentuk molekul hanya ditentukan oleh jumlah atom yang terikat, bukan pasangan elektron bebas.
7. Sudut ikatan selalu sama dengan sudut ideal meskipun ada pasangan bebas.
8. Model bola-stik dianggap bentuk nyata molekul secara literal.
9. Orbital dan domain elektron disamakan tanpa penjelasan.
10. Molekul simetris selalu polar jika memiliki ikatan polar.

AI dapat membantu membuat bahan remedial. Prompt:

"Buat materi remedial tentang miskonsepsi geometri molekul untuk siswa SMA. Fokus pada perbedaan struktur Lewis dan bentuk 3D, pengaruh pasangan elektron bebas, ikatan rangkap sebagai satu domain elektron, dan hubungan geometri dengan polaritas. Sertakan contoh CO_2, H_2O, NH_3, BF_3, dan CH_4, serta latihan koreksi miskonsepsi."

Aktivitas koreksi miskonsepsi dapat berupa pernyataan salah yang harus diperbaiki. Misalnya:

"CO_2 polar karena memiliki dua ikatan C=O polar."
Perbaikan: CO_2 memiliki ikatan polar, tetapi bentuk linear simetris menyebabkan momen dipol saling meniadakan sehingga molekulnya nonpolar.

5.4.11 AI untuk Membuat Soal Visual Geometri Molekul

Asesmen geometri molekul sebaiknya tidak hanya meminta nama bentuk, tetapi juga alasan berdasarkan domain elektron dan pasangan elektron bebas. AI dapat membantu membuat soal visual, soal berbasis tabel, soal prediksi, dan soal koreksi gambar.

Prompt:

"Buat asesmen visual teori VSEPR untuk siswa SMA. Soal harus mencakup: menentukan bentuk molekul dari struktur Lewis, menghitung domain elektron, membedakan geometri domain elektron dan bentuk molekul, menentukan polaritas, serta memperbaiki gambar molekul yang salah. Sertakan kunci dan rubrik."

Contoh soal:

"Diberikan struktur Lewis NH_3 dengan tiga ikatan N–H dan satu pasangan elektron bebas pada N. Tentukan geometri domain elektron, bentuk molekul, sudut ikatan perkiraan, dan polaritas molekul. Jelaskan alasanmu."

Jawaban ideal:
Geometri domain elektron tetrahedral karena ada empat domain elektron di sekitar N. Bentuk molekul piramida trigonal karena satu domain adalah pasangan elektron bebas. Sudut H–N–H sekitar 107°. Molekul NH_3 polar karena bentuknya tidak simetris dan momen dipol tidak saling meniadakan.

Soal semacam ini mengukur pemahaman lebih dalam daripada sekadar "apa bentuk NH_3?"

5.4.12 AI untuk Membuat Simulasi Naratif VSEPR

Jika guru tidak memiliki software simulasi, AI dapat membantu membuat simulasi naratif atau skenario aktivitas. Misalnya, siswa menggunakan balon untuk merepresentasikan domain elektron. Balon yang diikat pada satu titik akan saling menjauh, menyerupai susunan domain elektron yang meminimalkan tolakan. Aktivitas ini dapat membantu, tetapi harus diberi batas karena balon bukan elektron.

Prompt:

"Buat aktivitas simulasi sederhana teori VSEPR menggunakan balon untuk siswa SMA. Jelaskan cara merepresentasikan 2, 3, dan 4 domain elektron, hubungkan dengan bentuk linear, trigonal planar, dan tetrahedral, serta jelaskan batas analogi balon."

Batas analogi penting:

- Balon membantu menunjukkan kecenderungan menjauh.
- Balon tidak menunjukkan elektron sebenarnya.
- Balon tidak membedakan pasangan elektron bebas dan pasangan ikatan secara akurat kecuali dimodifikasi.
- Bentuk molekul nyata dipengaruhi oleh distribusi elektron dan sifat atom, bukan balon fisik.

AI dapat membantu menyusun aktivitas ini lengkap dengan pertanyaan refleksi.

5.4.13 AI untuk Menghubungkan VSEPR dengan Hibridisasi secara Hati-hati

Pada beberapa kurikulum, geometri molekul dikaitkan dengan hibridisasi. Misalnya, empat domain elektron sering dikaitkan dengan hibridisasi sp^3, tiga domain dengan sp^2, dan dua domain dengan sp. Namun, pembelajaran hibridisasi perlu hati-hati karena hibridisasi adalah model dalam teori ikatan valensi, bukan penyebab sederhana dari bentuk molekul. Pada tingkat awal, VSEPR dapat digunakan untuk memprediksi bentuk tanpa harus membahas hibridisasi terlalu dalam.

AI dapat membantu membuat penjelasan penghubung:

"Jelaskan hubungan sederhana antara jumlah domain elektron, geometri VSEPR, dan hibridisasi untuk siswa SMA lanjutan. Gunakan contoh CO_2, BF_3, CH_4, NH_3, dan H_2O. Tegaskan bahwa

VSEPR digunakan untuk memprediksi bentuk berdasarkan tolakan domain elektron, sedangkan hibridisasi adalah model lain untuk menjelaskan orientasi orbital dalam ikatan."

Penjelasan harus menghindari kalimat "atom berhibridisasi agar bentuknya demikian" secara teleologis. Lebih tepat menjelaskan bahwa hibridisasi adalah model yang digunakan untuk menggambarkan orbital yang sesuai dengan geometri ikatan yang diamati.

Untuk kelas yang belum membutuhkan hibridisasi, guru dapat melewati bagian ini agar tidak menambah beban kognitif.

5.4.14 AI untuk Menghubungkan Geometri Molekul dengan Gaya Antarmolekul

Geometri molekul berperan penting dalam menentukan polaritas molekul, dan polaritas molekul memengaruhi gaya antarmolekul. Molekul polar dapat mengalami gaya dipol-dipol, sedangkan molekul nonpolar terutama mengalami gaya dispersi London. Molekul yang memiliki H terikat pada N, O, atau F dapat membentuk ikatan hidrogen antarmolekul jika terdapat pasangan elektron bebas pada molekul lain. Dengan demikian, pemahaman geometri molekul menjadi jembatan menuju topik gaya antarmolekul.

AI dapat membantu membuat peta konsep:

"Buat peta konsep yang menghubungkan struktur Lewis, teori VSEPR, bentuk molekul, polaritas molekul, gaya antarmolekul, dan sifat fisik seperti titik didih dan kelarutan. Gunakan contoh H_2O, CO_2, NH_3, CH_4, dan HCl."

Peta konsep dapat menunjukkan:

- Struktur Lewis membantu menentukan domain elektron.
- Domain elektron digunakan dalam VSEPR untuk memprediksi bentuk molekul.
- Bentuk molekul dan polaritas ikatan menentukan polaritas molekul.
- Polaritas molekul memengaruhi gaya antarmolekul.
- Gaya antarmolekul memengaruhi titik didih, kelarutan, dan wujud zat.

Dengan peta konsep ini, siswa memahami bahwa geometri molekul bukan topik terpisah, tetapi bagian dari jaringan konsep kimia.

5.4.15 AI untuk Visualisasi Geometri Molekul dalam Kimia Organik

Dalam kimia organik, geometri molekul sangat penting. Atom karbon sp^3 memiliki geometri tetrahedral, karbon sp^2 trigonal planar, dan karbon sp linear. Bentuk ini memengaruhi isomerisme, stereokimia, reaktivitas, dan sifat molekul. AI dapat membantu membuat visualisasi sederhana untuk menghubungkan geometri atom karbon dengan struktur organik.

Prompt:

“Buat penjelasan visual tentang geometri atom karbon dalam senyawa organik untuk siswa SMA/mahasiswa awal. Bandingkan karbon sp^3 pada metana, sp^2 pada etena, dan sp pada etuna. Tampilkan bentuk geometri, sudut ikatan perkiraan, jenis ikatan, dan hubungan dengan struktur molekul.”

Guru perlu menyesuaikan tingkat kedalaman. Untuk SMA, cukup membahas bentuk tetrahedral, trigonal planar, dan linear. Untuk mahasiswa, dapat ditambahkan orbital hibrida, ikatan sigma, ikatan pi, rotasi ikatan, dan stereokimia.

Visualisasi geometri organik dapat sangat terbantu dengan model 3D. AI dapat membantu membuat panduan penggunaan software, tetapi struktur final sebaiknya dibuat dengan aplikasi kimia agar akurat.

5.4.16 Validasi Visualisasi Geometri Molekul Berbantuan AI

Visualisasi geometri molekul harus divalidasi. Daftar cek validasi meliputi:

1. Apakah struktur Lewis benar?
2. Apakah atom pusat ditentukan dengan tepat?
3. Apakah jumlah domain elektron benar?
4. Apakah ikatan rangkap dihitung sebagai satu domain dalam VSEPR?
5. Apakah pasangan elektron bebas diperhitungkan?
6. Apakah geometri domain elektron dan bentuk molekul dibedakan?
7. Apakah sudut ikatan masuk akal?
8. Apakah polaritas molekul ditentukan berdasarkan bentuk dan dipol ikatan?
9. Apakah visual tidak membuat molekul tampak datar jika sebenarnya tiga dimensi?
10. Apakah pasangan elektron bebas tidak digambarkan sebagai atom?
11. Apakah label dan panah dipol benar?
12. Apakah batas model dijelaskan?

Prompt validasi:

“Tinjau visualisasi geometri molekul berikut. Periksa struktur Lewis, jumlah domain elektron, pasangan elektron bebas, bentuk VSEPR, sudut ikatan, polaritas, label, dan potensi miskonsepsi. Berikan revisi konkret.”

Untuk visual molekul yang lebih kompleks, guru sebaiknya membandingkan dengan sumber kimia atau perangkat pemodelan. AI generatif gambar dapat salah menempatkan atom atau membuat sudut tidak realistis.

5.4.17 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu menguasai geometri molekul karena topik ini menjadi jembatan antara ikatan kimia, polaritas, gaya antarmolekul, sifat zat, dan kimia organik. Dalam penggunaan AI, guru harus mampu merancang prompt visual, memvalidasi bentuk molekul, dan mengaitkan visual

dengan konsep. Guru juga perlu menekankan bahwa struktur Lewis dua dimensi tidak cukup untuk memahami molekul; siswa perlu berpikir dalam ruang tiga dimensi.

Calon guru kimia perlu dilatih membuat visualisasi VSEPR berbantuan AI dan memvalidasinya. Mereka dapat diminta membuat tabel VSEPR, model 3D, LKPD prediksi bentuk molekul, soal visual, dan bahan remedial miskonsepsi. Tugas tersebut perlu disertai catatan validasi.

Contoh tugas:

"Gunakan AI untuk merancang pembelajaran visual teori VSEPR pada lima molekul: CO_2, BF_3, CH_4, NH_3, dan H_2O. Produk harus mencakup struktur Lewis, jumlah domain elektron, bentuk molekul, sudut ikatan, polaritas, visual 3D, miskonsepsi, dan asesmen formatif. Validasi semua bentuk molekul dan jelaskan revisinya."

Dengan tugas seperti ini, calon guru belajar bahwa visualisasi molekul harus akurat, pedagogis, dan terhubung dengan konsep lain.

Dengan demikian, AI dapat membantu menjelaskan geometri molekul dan teori VSEPR melalui tabel, diagram domain elektron, model tiga dimensi, visual polaritas, LKPD prediksi bentuk, simulasi naratif, dan asesmen visual. Namun, guru harus memastikan bahwa visualisasi tidak menyamakan struktur Lewis dengan bentuk nyata, tidak mengabaikan pasangan elektron bebas, tidak salah menghitung domain elektron, dan tidak salah menentukan polaritas. Geometri molekul berbantuan AI yang baik harus membantu siswa memahami susunan ruang molekul, pengaruh pasangan elektron bebas, sudut ikatan, polaritas, dan hubungan bentuk molekul dengan sifat zat.

5.5 AI untuk Memahami Gaya Antarmolekul

Gaya antarmolekul merupakan konsep penting dalam kimia karena menjelaskan bagaimana partikel-partikel netral saling berinteraksi dan bagaimana interaksi tersebut memengaruhi sifat fisik zat. Titik didih, titik leleh, viskositas, tegangan permukaan, kelarutan, tekanan uap, volatilitas, struktur cairan, sifat material, hingga perilaku biomolekul sangat dipengaruhi oleh gaya antarmolekul. Dalam pembelajaran kimia, topik ini menjadi jembatan antara struktur molekul, polaritas, geometri molekul, dan sifat makroskopik zat.

Meskipun penting, gaya antarmolekul sering disalahpahami oleh peserta didik. Salah satu kesulitan utama adalah membedakan antara gaya intramolekul dan gaya antarmolekul. Gaya intramolekul adalah gaya atau ikatan yang bekerja di dalam molekul, seperti ikatan kovalen antaratom dalam molekul H_2O. Gaya antarmolekul adalah interaksi antara molekul-molekul, misalnya ikatan hidrogen antarmolekul antara molekul-molekul H_2O. Ketika air mendidih, yang terutama diatasi adalah gaya antarmolekul antar molekul air, bukan ikatan kovalen O–H di dalam molekul air. Miskonsepsi ini sangat umum dan perlu divisualisasikan dengan hati-hati.

AI dapat membantu guru menjelaskan gaya antarmolekul melalui visualisasi, tabel perbandingan, model molekul, simulasi naratif, diagram energi sederhana, infografik, animasi konseptual, soal berbasis data titik didih, dan aktivitas koreksi miskonsepsi. AI juga dapat membantu menghubungkan bentuk molekul, polaritas, massa molekul, luas permukaan, dan jenis gaya

antarmolekul dengan sifat fisik zat. Namun, guru harus memastikan bahwa visualisasi AI tidak mencampuradukkan ikatan kimia dan gaya antarmolekul, tidak menggambarkan ikatan hidrogen sebagai ikatan kovalen biasa, dan tidak menyederhanakan semua titik didih hanya berdasarkan massa molekul tanpa memperhatikan polaritas dan jenis interaksi.

Pembelajaran gaya antarmolekul berbantuan AI harus dimulai dari hubungan antara struktur molekul dan polaritas. Molekul nonpolar terutama mengalami gaya dispersi London. Molekul polar mengalami gaya dipol-dipol, selain gaya dispersi. Molekul yang memiliki H terikat langsung pada N, O, atau F dapat membentuk ikatan hidrogen antarmolekul dengan pasangan elektron bebas pada N, O, atau F molekul lain. Pada konteks yang lebih luas, interaksi ion-dipol juga penting untuk menjelaskan pelarutan senyawa ionik dalam pelarut polar seperti air. Dengan visualisasi yang tepat, siswa dapat memahami bahwa gaya antarmolekul bukan konsep hafalan, tetapi penjelasan ilmiah terhadap banyak fenomena sehari-hari.

5.5.1 Hakikat Gaya Antarmolekul

Gaya antarmolekul adalah gaya tarik-menarik atau interaksi yang terjadi antarpartikel, terutama antarmolekul. Gaya ini umumnya lebih lemah dibandingkan ikatan kovalen, ionik, atau logam yang mengikat atom atau ion dalam struktur zat. Namun, meskipun relatif lebih lemah, gaya antarmolekul sangat menentukan sifat fisik zat. Semakin kuat gaya antarmolekul, semakin besar energi yang diperlukan untuk memisahkan partikel, sehingga titik didih dan titik leleh cenderung lebih tinggi.

Jenis gaya antarmolekul yang umum dipelajari meliputi gaya dispersi London, gaya dipol-dipol, ikatan hidrogen, dan gaya ion-dipol. Gaya dispersi London terjadi pada semua partikel karena fluktuasi sementara distribusi elektron yang menghasilkan dipol sesaat. Gaya dipol-dipol terjadi antara molekul polar karena adanya ujung bermuatan parsial positif dan negatif. Ikatan hidrogen merupakan interaksi kuat khusus yang terjadi ketika atom H yang terikat pada N, O, atau F berinteraksi dengan pasangan elektron bebas pada N, O, atau F molekul lain. Gaya ion-dipol terjadi antara ion dan molekul polar, misalnya saat Na^+ dan Cl^- berinteraksi dengan molekul air dalam proses pelarutan NaCl.

AI dapat membantu membuat tabel ringkas jenis gaya antarmolekul. Contoh prompt:

“Buat tabel perbandingan gaya dispersi London, dipol-dipol, ikatan hidrogen, dan ion-dipol untuk siswa SMA. Kolom harus memuat penyebab interaksi, partikel yang terlibat, contoh zat, pengaruh terhadap sifat fisik, dan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Tabel seperti ini dapat membantu siswa membedakan jenis gaya. Namun, guru perlu menegaskan bahwa dalam satu zat dapat terdapat lebih dari satu jenis gaya antarmolekul. Misalnya, HCl memiliki gaya dispersi London dan dipol-dipol. H_2O memiliki gaya dispersi London, dipol-dipol, dan ikatan hidrogen. Gaya yang dominan bergantung pada struktur dan kondisi.

5.5.2 Membedakan Gaya Intramolekul dan Antarmolekul

Perbedaan gaya intramolekul dan antarmolekul merupakan konsep dasar yang harus dikuasai sebelum siswa mempelajari gaya antarmolekul lebih jauh. Gaya intramolekul bekerja di dalam molekul, seperti ikatan kovalen O–H dalam H_2O atau ikatan C–H dalam CH_4. Gaya antarmolekul bekerja di antara molekul, seperti interaksi antara molekul H_2O yang satu dengan molekul H_2O yang lain.

Kesalahan umum terjadi ketika siswa menganggap bahwa perubahan wujud memutus ikatan kovalen dalam molekul. Misalnya, ketika air mendidih, siswa dapat mengira bahwa ikatan O–H terputus sehingga air berubah menjadi H_2 dan O_2. Ini salah. Pada pendidihan, molekul H_2O tetap sebagai H_2O. Yang berubah adalah jarak dan gerak antarmolekul karena gaya antarmolekul antar molekul air diatasi oleh energi panas.

AI dapat membantu membuat visual dua tingkat:

“Buat rancangan visual untuk membedakan gaya intramolekul dan gaya antarmolekul pada air. Visual harus menunjukkan ikatan kovalen O–H di dalam satu molekul H_2O dan ikatan hidrogen antarmolekul antara molekul-molekul H_2O. Jelaskan bahwa saat air mendidih, molekul H_2O tetap utuh, sedangkan gaya antarmolekul melemah atau teratasi. Sertakan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Visual semacam ini sangat penting. Guru dapat menampilkan molekul air sebagai satuan yang utuh, lalu menunjukkan garis putus-putus antar molekul sebagai ikatan hidrogen. Garis penuh untuk ikatan kovalen dan garis putus-putus untuk gaya antarmolekul harus diberi label jelas agar siswa tidak menyamakan keduanya.

5.5.3 AI untuk Memvisualisasikan Gaya Dispersi London

Gaya dispersi London merupakan gaya antarmolekul yang muncul akibat fluktuasi sesaat distribusi elektron. Walaupun semua molekul dan atom memiliki gaya dispersi, gaya ini menjadi sangat penting pada zat nonpolar seperti gas mulia, halogen nonpolar, hidrokarbon, dan molekul organik nonpolar. Kekuatan gaya dispersi cenderung meningkat dengan bertambahnya jumlah elektron, massa molar, dan luas permukaan kontak molekul.

Konsep gaya dispersi sulit divisualisasikan karena melibatkan dipol sesaat dan dipol terinduksi. AI dapat membantu membuat narasi visual sederhana:

“Buat penjelasan visual tentang gaya dispersi London untuk siswa SMA. Jelaskan bahwa elektron dalam molekul nonpolar dapat tersebar tidak merata sesaat, menghasilkan dipol sesaat yang menginduksi dipol pada molekul tetangga. Gunakan contoh I_2 dan Cl_2 untuk menjelaskan mengapa I_2 memiliki titik didih lebih tinggi. Hindari penjelasan bahwa molekul nonpolar tidak memiliki gaya antarmolekul sama sekali.”

Miskonsepsi yang perlu dihindari adalah anggapan bahwa molekul nonpolar tidak saling tarik-menarik. Molekul nonpolar tetap memiliki gaya dispersi. Itulah sebabnya gas mulia dapat mencair

pada suhu sangat rendah dan molekul nonpolar besar dapat berwujud cair atau padat pada suhu kamar.

AI juga dapat membantu membuat soal berbasis data:

“Buat soal berbasis data titik didih F_2, Cl_2, Br_2, dan I_2. Siswa diminta menjelaskan tren titik didih berdasarkan gaya dispersi London, ukuran molekul, dan jumlah elektron. Sertakan kunci dan pembahasan.”

Dengan data, siswa dapat melihat bahwa kekuatan gaya dispersi meningkat dari F_2 ke I_2 sehingga titik didih meningkat.

5.5.4 AI untuk Memvisualisasikan Gaya Dipol-Dipol

Gaya dipol-dipol terjadi antara molekul polar. Molekul polar memiliki distribusi muatan yang tidak merata sehingga memiliki ujung bermuatan parsial positif dan ujung bermuatan parsial negatif. Ujung positif dari satu molekul dapat tertarik ke ujung negatif molekul lain. Visualisasi gaya dipol-dipol sangat bergantung pada pemahaman geometri molekul dan polaritas.

Contoh sederhana adalah HCl. Atom Cl lebih elektronegatif daripada H, sehingga H memiliki muatan parsial positif dan Cl memiliki muatan parsial negatif. Antar molekul HCl, bagian $H\delta^+$ dari satu molekul dapat tertarik ke bagian $Cl\delta^-$ dari molekul lain. Namun, gaya ini berbeda dari ikatan kovalen H–Cl di dalam molekul.

AI dapat membantu membuat visual:

“Buat rancangan visual gaya dipol-dipol pada molekul HCl untuk siswa SMA. Tampilkan $H\delta^+$ dan $Cl\delta^-$ pada setiap molekul, orientasi tarik-menarik antarmolekul, dan perbedaan antara ikatan kovalen H–Cl intramolekul dengan gaya dipol-dipol antarmolekul. Sertakan catatan miskonsepsi.”

Visual harus membedakan garis penuh untuk ikatan kovalen dalam molekul dan garis putus-putus untuk gaya dipol-dipol antar molekul. Guru perlu menegaskan bahwa gaya dipol-dipol tidak hanya ditentukan oleh adanya ikatan polar, tetapi oleh polaritas molekul secara keseluruhan. Molekul CO_2 memiliki ikatan C=O polar, tetapi molekulnya nonpolar karena bentuk linear simetris. Karena itu, CO_2 tidak memiliki gaya dipol-dipol permanen seperti molekul polar.

AI dapat membantu membuat latihan membedakan molekul polar dan nonpolar sebelum membahas gaya dipol-dipol.

5.5.5 AI untuk Menjelaskan Ikatan Hidrogen secara Tepat

Ikatan hidrogen adalah salah satu gaya antarmolekul yang paling sering disebut tetapi juga paling sering disalahpahami. Ikatan hidrogen terjadi ketika H yang terikat langsung pada atom sangat elektronegatif, terutama N, O, atau F, berinteraksi dengan pasangan elektron bebas pada N, O, atau F molekul lain. Ikatan hidrogen lebih kuat daripada gaya dipol-dipol biasa, tetapi tetap berbeda dari ikatan kovalen intramolekul pada pembelajaran dasar.

Contoh penting adalah air. Setiap molekul H_2O memiliki atom H yang terikat pada O dan pasangan elektron bebas pada O, sehingga molekul-molekul air dapat membentuk jaringan ikatan hidrogen. Hal ini membantu menjelaskan titik didih air yang relatif tinggi dibandingkan H_2S, tegangan permukaan air, kalor jenis tinggi, dan sifat khusus es.

AI dapat membantu membuat visual:

"Buat visual konseptual ikatan hidrogen pada air. Tampilkan beberapa molekul H_2O, ikatan kovalen O–H sebagai garis penuh, dan ikatan hidrogen antarmolekul sebagai garis putus-putus antara $H\delta^+$ pada satu molekul dan pasangan elektron bebas O pada molekul lain. Jelaskan bahwa ikatan hidrogen bukan ikatan kovalen O–H. Sertakan miskonsepsi umum."

Miskonsepsi umum:

1. Semua molekul yang mengandung H dapat membentuk ikatan hidrogen kuat.
2. Ikatan hidrogen sama dengan ikatan kovalen H–O.
3. Ikatan hidrogen hanya terjadi dalam air.
4. Ikatan hidrogen selalu intramolekul.
5. Ikatan hidrogen berarti atom H berpindah sebagai proton.

Guru perlu menekankan syarat umum: H harus terikat pada N, O, atau F, dan harus ada pasangan elektron bebas pada N, O, atau F yang dapat berinteraksi. Molekul seperti CH_4 tidak membentuk ikatan hidrogen antarmolekul yang kuat karena H terikat pada C, bukan N/O/F.

5.5.6 AI untuk Menjelaskan Gaya Ion-Dipol dan Pelarutan Senyawa Ionik

Gaya ion-dipol penting untuk menjelaskan pelarutan senyawa ionik dalam pelarut polar. Ketika NaCl dilarutkan dalam air, ion Na^+ dan Cl^- berinteraksi dengan molekul air. Ujung oksigen yang bermuatan parsial negatif pada H_2O mengarah ke Na^+, sedangkan ujung hidrogen yang bermuatan parsial positif mengarah ke Cl^-. Interaksi ini membantu menstabilkan ion dalam larutan melalui hidrasi.

AI dapat membantu membuat visual hidrasi ion:

"Buat rancangan visual proses pelarutan NaCl dalam air pada level partikel. Tampilkan kisi ionik NaCl, molekul air polar, orientasi oksigen air menghadap Na^+, orientasi hidrogen air menghadap Cl^-, pembentukan selubung hidrasi, dan ion bebas dalam larutan. Jelaskan bahwa pelarutan bukan berarti NaCl berubah menjadi molekul netral. Sertakan miskonsepsi yang perlu dihindari."

Visual ini membantu menghubungkan konsep ikatan ion, polaritas air, gaya ion-dipol, dan larutan elektrolit. Siswa dapat melihat mengapa NaCl larut menghasilkan ion bebas yang dapat menghantarkan listrik.

Guru perlu menekankan bahwa tidak semua senyawa ionik larut baik dalam air. Kelarutan bergantung pada keseimbangan antara energi kisi dan energi hidrasi serta faktor termodinamika lainnya. Untuk siswa SMA, cukup dijelaskan secara kualitatif bahwa interaksi ion-dipol dapat

membantu proses pelarutan, tetapi kelarutan tiap zat perlu dilihat berdasarkan data atau aturan kelarutan.

5.5.7 Hubungan Gaya Antarmolekul dengan Titik Didih dan Titik Leleh

Salah satu aplikasi utama gaya antarmolekul adalah menjelaskan titik didih dan titik leleh. Semakin kuat gaya antarmolekul, semakin besar energi yang diperlukan untuk memisahkan partikel, sehingga titik didih dan titik leleh cenderung lebih tinggi. Namun, perbandingan titik didih tidak selalu sederhana karena dipengaruhi oleh jenis gaya, ukuran molekul, bentuk molekul, massa molar, dan luas permukaan.

AI dapat membantu membuat soal berbasis data. Contoh prompt:

"Buat bahan ajar berbasis data tentang hubungan gaya antarmolekul dan titik didih. Gunakan contoh CH_4, NH_3, H_2O, dan HF; serta seri halogen F_2, Cl_2, Br_2, I_2. Siswa diminta menjelaskan tren berdasarkan ikatan hidrogen, dipol-dipol, dan gaya dispersi London. Sertakan pertanyaan analisis dan kunci."

Contoh penting:

- H_2O memiliki titik didih tinggi karena ikatan hidrogen kuat dan jaringan ikatan hidrogen.
- NH_3 juga dapat membentuk ikatan hidrogen, tetapi pola dan kekuatannya berbeda dari air.
- HF memiliki ikatan hidrogen kuat.
- CH_4 nonpolar dan hanya memiliki gaya dispersi London lemah, sehingga titik didih rendah.
- I_2 memiliki titik didih lebih tinggi daripada Cl_2 karena gaya dispersi lebih kuat akibat ukuran dan jumlah elektron lebih besar.

Guru perlu menghindari penyederhanaan "massa molekul lebih besar selalu titik didih lebih tinggi." Massa dan ukuran berpengaruh pada gaya dispersi, tetapi jenis gaya antarmolekul juga sangat penting. H_2O memiliki massa molekul kecil tetapi titik didih relatif tinggi karena ikatan hidrogen.

5.5.8 Hubungan Gaya Antarmolekul dengan Kelarutan

Kelarutan sering dijelaskan dengan prinsip sederhana "like dissolves like" atau "yang sejenis melarutkan yang sejenis." Senyawa polar cenderung larut dalam pelarut polar, dan senyawa nonpolar cenderung larut dalam pelarut nonpolar. Namun, prinsip ini perlu dipahami secara konseptual, bukan sebagai hafalan. Kelarutan bergantung pada interaksi antara zat terlarut dan pelarut, serta perubahan energi dan entropi dalam proses pelarutan.

AI dapat membantu membuat visual interaksi zat terlarut-pelarut. Contoh prompt:

"Buat penjelasan visual tentang prinsip 'like dissolves like' untuk siswa SMA. Gunakan contoh garam larut dalam air, gula larut dalam air, minyak tidak larut dalam air, dan iodin lebih larut dalam pelarut nonpolar. Jelaskan berdasarkan polaritas, ikatan hidrogen, gaya ion-dipol, dan gaya dispersi. Hindari penjelasan bahwa polar dan nonpolar 'tidak suka' secara antropomorfik."

Siswa perlu memahami bahwa air dapat melarutkan NaCl karena interaksi ion-dipol antara ion dan molekul air. Gula dapat larut dalam air karena banyak gugus –OH yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan air. Minyak tidak larut baik dalam air karena molekul minyak nonpolar dan interaksinya dengan air tidak cukup menguntungkan untuk membentuk campuran homogen stabil. Penjelasan ini lebih baik daripada sekadar "air dan minyak tidak suka bercampur."

AI juga dapat membantu membuat LKPD sederhana tentang kelarutan berbagai zat dalam air dan pelarut nonpolar dengan penekanan keselamatan.

5.5.9 Hubungan Gaya Antarmolekul dengan Viskositas dan Tegangan Permukaan

Selain titik didih dan kelarutan, gaya antarmolekul juga memengaruhi viskositas dan tegangan permukaan. Viskositas adalah ukuran resistensi zat cair terhadap aliran. Zat cair dengan gaya antarmolekul kuat atau struktur molekul besar cenderung lebih kental. Tegangan permukaan berkaitan dengan gaya tarik antarmolekul pada permukaan cairan. Air memiliki tegangan permukaan relatif tinggi karena adanya jaringan ikatan hidrogen.

AI dapat membantu membuat konteks sehari-hari:

"Buat bahan ajar kontekstual tentang hubungan gaya antarmolekul dengan viskositas dan tegangan permukaan. Gunakan contoh air, gliserol, minyak, dan alkohol. Jelaskan secara kualitatif dengan bahasa siswa SMA. Sertakan aktivitas observasi aman, pertanyaan analisis, dan miskonsepsi yang perlu dihindari."

Aktivitas sederhana dapat meminta siswa membandingkan kecepatan alir air dan gliserol atau mengamati tetesan air pada permukaan tertentu. Namun, guru harus memastikan aktivitas aman dan tidak menggunakan bahan berbahaya. AI dapat membantu membuat pertanyaan:

1. Cairan mana yang mengalir lebih lambat?
2. Apa hubungan struktur molekul dan gaya antarmolekul?
3. Mengapa air dapat membentuk tetesan?
4. Bagaimana ikatan hidrogen berperan?

Dengan konteks ini, siswa melihat bahwa gaya antarmolekul menjelaskan fenomena nyata.

5.5.10 AI untuk Menyusun Infografik Gaya Antarmolekul

Infografik dapat membantu siswa membandingkan jenis gaya antarmolekul dan dampaknya terhadap sifat zat. AI dapat membantu menyusun rancangan infografik.

Prompt:

"Buat rancangan infografik satu halaman tentang gaya antarmolekul untuk siswa SMA. Infografik harus memuat: gaya dispersi London, dipol-dipol, ikatan hidrogen, ion-dipol, contoh zat, kekuatan relatif secara kualitatif, pengaruh terhadap titik didih dan kelarutan, serta miskonsepsi umum. Gunakan teks ringkas dan struktur visual yang jelas."

Infografik harus hati-hati dalam menyajikan "kekuatan relatif." Secara umum, ion-dipol dan ikatan hidrogen dapat lebih kuat daripada dipol-dipol biasa, dan gaya dispersi sering dianggap paling lemah untuk molekul kecil. Namun, gaya dispersi pada molekul besar dapat sangat signifikan. Karena itu, infografik perlu memberi catatan: kekuatan gaya bergantung pada struktur, ukuran, polaritas, dan kondisi; urutan umum hanya panduan awal.

Guru juga dapat meminta AI membuat versi infografik "miskonsepsi vs konsep benar." Misalnya:

- Salah: Molekul nonpolar tidak memiliki gaya antarmolekul.
  Benar: Semua molekul memiliki gaya dispersi London.
- Salah: Saat air mendidih, ikatan O–H putus.
  Benar: Ikatan hidrogen antarmolekul diatasi, molekul H_2O tetap utuh.

5.5.11 AI untuk Menyusun LKPD Visual Gaya Antarmolekul

Gaya antarmolekul dapat diajarkan melalui LKPD berbasis visual dan data. AI dapat membantu menyusun LKPD yang meminta siswa mengidentifikasi bentuk molekul, polaritas, jenis gaya antarmolekul, dan sifat fisik.

Prompt:

"Buat LKPD visual tentang gaya antarmolekul untuk siswa SMA. Siswa diberi beberapa molekul: CH_4, HCl, H_2O, NH_3, CO_2, CH_3OH, dan I_2. LKPD harus meminta siswa menentukan bentuk molekul, polaritas, jenis gaya antarmolekul utama, prediksi titik didih relatif, dan alasan. Sertakan tabel kerja, pertanyaan analisis, dan kunci guru."

LKPD semacam ini menghubungkan banyak konsep: struktur Lewis, geometri molekul, polaritas, gaya antarmolekul, dan sifat fisik. Guru perlu menyesuaikan jumlah molekul agar tidak terlalu berat.

AI juga dapat membuat LKPD berbasis data titik didih:

"Buat LKPD berbasis data titik didih beberapa senyawa molekuler. Siswa diminta mengidentifikasi jenis gaya antarmolekul yang menjelaskan perbedaan titik didih. Sertakan data, pertanyaan, dan pembahasan."

Data dapat digunakan untuk melatih penalaran ilmiah.

5.5.12 AI untuk Membuat Animasi Konseptual Gaya Antarmolekul

Animasi dapat membantu siswa memahami bahwa gaya antarmolekul bekerja antarpartikel dan berubah ketika suhu berubah. Misalnya, animasi pendidihan air dapat menunjukkan molekul H_2O tetap utuh, tetapi jarak antarmolekul meningkat. Animasi pelarutan NaCl dapat menunjukkan ion terhidrasi oleh molekul air. Animasi gaya dispersi dapat menunjukkan dipol sesaat dan dipol terinduksi.

Prompt storyboard:

“Buat storyboard animasi 90 detik tentang pendidihan air pada level partikel. Tampilkan molekul H_2O dalam fase cair yang saling berinteraksi melalui ikatan hidrogen, penambahan energi panas, gerak molekul meningkat, sebagian ikatan hidrogen antarmolekul teratasi, molekul menjadi lebih berjauhan sebagai uap, dan molekul H_2O tetap utuh. Sertakan narasi dan miskonsepsi yang harus dihindari.”

Untuk gaya dispersi:

“Buat storyboard animasi gaya dispersi London pada molekul I_2. Tampilkan fluktuasi awan elektron sesaat, terbentuknya dipol sesaat, induksi dipol pada molekul tetangga, dan gaya tarik lemah antarmolekul. Gunakan bahasa sederhana dan catatan bahwa ini adalah model.”

Storyboard membantu guru membuat atau memilih animasi yang benar secara konsep.

5.5.13 AI untuk Mengembangkan Aktivitas Koreksi Miskonsepsi Gaya Antarmolekul

Aktivitas koreksi miskonsepsi sangat penting pada topik ini. AI dapat membantu membuat pernyataan salah, visual salah, atau jawaban siswa yang perlu diperbaiki.

Prompt:

“Buat aktivitas koreksi miskonsepsi tentang gaya antarmolekul. Berikan 10 pernyataan salah yang umum pada siswa SMA, lalu minta siswa menjelaskan kesalahan dan menulis konsep yang benar. Sertakan kunci dan pembahasan.”

Contoh pernyataan salah:

1. Saat air mendidih, ikatan O–H dalam molekul air putus.
2. Molekul nonpolar tidak memiliki gaya antarmolekul.
3. Ikatan hidrogen sama dengan ikatan kovalen H–O.
4. Semua molekul yang mengandung H dapat membentuk ikatan hidrogen kuat.
5. Molekul dengan massa lebih besar selalu memiliki titik didih lebih tinggi.
6. CO_2 memiliki gaya dipol-dipol karena memiliki ikatan C=O polar.
7. Gaya antarmolekul lebih kuat daripada ikatan kovalen dalam molekul.
8. Minyak tidak larut dalam air karena molekul minyak terlalu berat.
9. NaCl larut dalam air sebagai molekul NaCl netral.
10. Ikatan hidrogen hanya terjadi pada air.

Aktivitas ini membantu siswa memperbaiki pemahaman secara eksplisit.

5.5.14 AI untuk Membuat Soal Asesmen Gaya Antarmolekul

Asesmen gaya antarmolekul harus mengukur kemampuan siswa menghubungkan struktur, polaritas, jenis gaya, dan sifat fisik. AI dapat membantu membuat soal pilihan ganda, uraian, berbasis data, berbasis visual, dan berbasis argumentasi.

Prompt:

"Buat asesmen formatif tentang gaya antarmolekul untuk siswa SMA. Soal harus mencakup perbedaan gaya intra- dan antarmolekul, gaya dispersi London, dipol-dipol, ikatan hidrogen, ion-dipol, hubungan dengan titik didih, dan hubungan dengan kelarutan. Sertakan kunci, pembahasan, dan miskonsepsi yang diuji."

Contoh soal uraian:

"Jelaskan mengapa H_2O memiliki titik didih lebih tinggi daripada H_2S, meskipun H_2S memiliki massa molekul lebih besar."

Jawaban ideal:
H_2O dapat membentuk ikatan hidrogen antarmolekul yang kuat karena H terikat pada O yang sangat elektronegatif dan O memiliki pasangan elektron bebas. H_2S tidak membentuk ikatan hidrogen sekuat air; gaya antarmolekulnya lebih lemah, sehingga titik didih H_2O lebih tinggi.

Soal seperti ini menuntut siswa mempertimbangkan jenis gaya, bukan hanya massa molekul.

5.5.15 AI untuk Menghubungkan Gaya Antarmolekul dengan Kimia Biologi dan Material

Gaya antarmolekul berperan besar dalam sistem biologis dan material. Ikatan hidrogen berperan dalam struktur DNA, protein, dan air. Gaya hidrofobik berkaitan dengan interaksi molekul nonpolar dalam air. Interaksi dipol, ion-dipol, dan gaya dispersi berperan dalam pengenalan molekul, kelarutan obat, membran sel, polimer, dan material. Untuk siswa SMA, konsep ini dapat dijadikan pengayaan secara sederhana.

Prompt:

"Buat bahan pengayaan tentang peran gaya antarmolekul dalam kehidupan dan material untuk siswa SMA. Gunakan contoh ikatan hidrogen pada DNA secara sederhana, kelarutan obat secara konseptual, air sebagai pelarut, dan sifat polimer. Hindari detail biokimia terlalu rumit. Sertakan pertanyaan refleksi."

Pengayaan ini membantu siswa melihat relevansi gaya antarmolekul. Namun, guru harus menghindari klaim terlalu teknis atau medis. Penjelasan cukup bersifat konseptual.

Dalam konteks kimia komputasi, gaya antarmolekul juga dapat divisualisasikan melalui permukaan potensial elektrostatik, docking molekul, atau simulasi interaksi. Untuk mahasiswa awal, AI dapat membantu menjelaskan konsep secara sederhana, tetapi visual presisi harus menggunakan perangkat ilmiah yang sesuai.

5.5.16 Validasi Visualisasi Gaya Antarmolekul Berbantuan AI

Visualisasi gaya antarmolekul harus divalidasi dengan teliti. Daftar cek validasi:

1. Apakah gaya intramolekul dan antarmolekul dibedakan?
2. Apakah ikatan hidrogen tidak digambarkan sebagai ikatan kovalen biasa?
3. Apakah garis putus-putus dan garis penuh diberi makna jelas?
4. Apakah molekul tetap utuh saat perubahan wujud dijelaskan?
5. Apakah gaya dispersi dijelaskan terjadi pada semua molekul?
6. Apakah polaritas molekul ditentukan berdasarkan geometri, bukan hanya ikatan?
7. Apakah ion-dipol dijelaskan dengan orientasi molekul air yang benar?
8. Apakah hubungan titik didih tidak disederhanakan hanya berdasarkan massa?
9. Apakah kelarutan dijelaskan berdasarkan interaksi partikel?
10. Apakah visual sesuai jenjang siswa?
11. Apakah batas model dijelaskan?
12. Apakah miskonsepsi umum diantisipasi?

Prompt validasi:

“Tinjau visualisasi gaya antarmolekul berikut. Periksa apakah gaya intra- dan antarmolekul dibedakan, apakah ikatan hidrogen digambarkan tepat, apakah polaritas molekul benar, apakah hubungan dengan titik didih dan kelarutan akurat, serta apakah ada potensi miskonsepsi. Berikan revisi konkret.”

Guru tetap harus membandingkan visual dengan buku teks dan sumber kimia yang valid. Visual AI yang tampak menarik tidak boleh langsung digunakan tanpa pemeriksaan.

5.5.17 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu menguasai gaya antarmolekul karena topik ini menghubungkan struktur molekul dengan sifat zat. Dalam penggunaan AI, guru dapat memanfaatkan AI untuk membuat visual, tabel, LKPD, soal, dan bahan kontekstual. Namun, guru harus memastikan bahwa penjelasan tidak mencampuradukkan ikatan kimia dan gaya antarmolekul. Guru juga perlu mengaitkan gaya antarmolekul dengan data nyata, seperti titik didih, kelarutan, viskositas, dan tegangan permukaan.

Calon guru kimia perlu dilatih merancang visualisasi gaya antarmolekul berbantuan AI. Mereka dapat diminta membuat visual perbedaan gaya intra- dan antarmolekul, infografik jenis gaya antarmolekul, LKPD berbasis data titik didih, dan aktivitas koreksi miskonsepsi. Setiap produk harus disertai validasi konsep.

Contoh tugas:

“Gunakan AI untuk merancang bahan ajar visual tentang gaya antarmolekul. Produk harus memuat jenis gaya antarmolekul, contoh molekul, hubungan dengan titik didih dan kelarutan, miskonsepsi umum, asesmen visual, dan validasi konsep. Revisi setiap bagian yang berpotensi menimbulkan miskonsepsi.”

Dengan tugas seperti ini, calon guru belajar bahwa visualisasi gaya antarmolekul harus akurat, berbasis struktur, dan terhubung dengan sifat fisik zat.

Dengan demikian, AI dapat membantu memahami gaya antarmolekul melalui visualisasi gaya dispersi London, dipol-dipol, ikatan hidrogen, ion-dipol, hubungan dengan titik didih, kelarutan, viskositas, tegangan permukaan, dan sifat material. Namun, guru harus memastikan bahwa visualisasi tidak menyamakan gaya antarmolekul dengan ikatan intramolekul, tidak menyederhanakan tren sifat fisik secara berlebihan, dan tidak mengabaikan peran geometri molekul serta polaritas. Gaya antarmolekul berbantuan AI yang baik harus membantu siswa melihat hubungan antara struktur molekul, interaksi partikel, dan sifat makroskopik zat secara jelas dan bermakna.

5.6 AI untuk Menjelaskan Reaksi Kimia dan Persamaan Reaksi

Reaksi kimia dan persamaan reaksi merupakan inti pembelajaran kimia karena melalui keduanya peserta didik memahami bagaimana zat berubah menjadi zat lain. Reaksi kimia tidak sekadar peristiwa perubahan warna, terbentuknya gas, endapan, panas, atau cahaya. Di balik fenomena makroskopik tersebut terjadi perubahan susunan atom, pemutusan dan pembentukan ikatan, perpindahan elektron, pertukaran ion, atau penyusunan ulang partikel. Persamaan reaksi berfungsi sebagai bahasa simbolik untuk menyatakan perubahan tersebut secara ringkas, kuantitatif, dan dapat dianalisis.

Namun, reaksi kimia dan persamaan reaksi sering menjadi sumber kesulitan belajar. Banyak siswa dapat menghafal contoh reaksi tetapi tidak memahami makna persamaan reaksi. Sebagian siswa menganggap koefisien dan indeks sebagai angka yang dapat diubah secara bebas. Sebagian siswa menyetarakan reaksi dengan mengubah rumus zat, bukan koefisien. Sebagian siswa belum memahami bahwa persamaan reaksi harus memenuhi hukum kekekalan massa dan kekekalan jumlah atom. Sebagian lagi dapat menyetarakan persamaan secara mekanis, tetapi tidak memahami makna partikel dan mol di balik koefisien reaksi.

AI dapat membantu guru menjelaskan reaksi kimia dan persamaan reaksi secara lebih visual, bertahap, dan representasional. AI dapat digunakan untuk membuat ilustrasi perubahan partikel, animasi reaksi, tabel sebelum-sesudah, latihan penyetaraan bertahap, penjelasan jenis reaksi, persamaan molekul, persamaan ion lengkap, persamaan ion bersih, serta hubungan persamaan reaksi dengan stoikiometri. AI juga dapat membantu membuat soal diagnostik, umpan balik kesalahan, dan aktivitas koreksi miskonsepsi. Namun, guru harus memvalidasi semua persamaan reaksi yang dibuat AI karena kesalahan rumus, koefisien, fase, muatan, atau produk reaksi dapat terjadi.

5.6.1 Reaksi Kimia sebagai Perubahan Susunan Atom

Reaksi kimia adalah proses perubahan zat yang melibatkan penyusunan ulang atom-atom. Atom tidak hilang dan tidak diciptakan dalam reaksi kimia biasa. Yang berubah adalah cara atom-atom tersebut tersusun dan berikatan. Prinsip ini menjadi dasar hukum kekekalan massa dan dasar penyetaraan persamaan reaksi. Jika sebelum reaksi terdapat dua atom hidrogen dan satu atom

oksigen, maka setelah reaksi jumlah atom-atom tersebut harus tetap sama, meskipun tersusun dalam zat yang berbeda.

Dalam pembelajaran, guru perlu menekankan bahwa persamaan reaksi bukan sekadar tulisan simbolik. Persamaan reaksi menyatakan hubungan antara zat pereaksi dan zat hasil reaksi pada level partikel dan level kuantitatif. Misalnya:

$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

Persamaan tersebut tidak hanya berarti hidrogen bereaksi dengan oksigen menghasilkan air. Secara partikel, dua molekul H_2 bereaksi dengan satu molekul O_2 membentuk dua molekul H_2O. Secara molar, dua mol H_2 bereaksi dengan satu mol O_2 menghasilkan dua mol H_2O. Secara massa, jumlah massa pereaksi sama dengan jumlah massa produk jika sistem tertutup.

AI dapat membantu membuat visualisasi perubahan susunan atom. Contoh prompt:

"Buat visualisasi reaksi $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ untuk siswa SMA. Tampilkan molekul H_2 dan O_2 sebelum reaksi, pemutusan ikatan H–H dan O=O secara konseptual, pembentukan ikatan O–H, dan hasil berupa dua molekul H_2O. Jelaskan bahwa atom tidak hilang, hanya tersusun ulang."

Visual seperti ini membantu siswa memahami bahwa penyetaraan reaksi berkaitan dengan jumlah atom, bukan sekadar aturan matematis.

5.6.2 Makna Persamaan Reaksi Kimia

Persamaan reaksi kimia adalah representasi simbolik dari reaksi kimia. Persamaan reaksi memuat rumus zat pereaksi, rumus zat produk, koefisien, tanda panah, dan kadang-kadang fase zat. Setiap bagian memiliki makna. Rumus zat menunjukkan jenis partikel atau satuan formula yang terlibat. Koefisien menunjukkan perbandingan jumlah partikel atau mol. Tanda panah menunjukkan arah perubahan. Simbol fase seperti (s), (l), (g), dan (aq) menunjukkan keadaan zat.

AI dapat membantu guru membuat bahan ajar yang menjelaskan setiap komponen persamaan reaksi. Contoh prompt:

"Buat penjelasan visual komponen persamaan reaksi kimia untuk siswa SMA. Gunakan contoh $CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$. Jelaskan makna rumus, koefisien, tanda panah, simbol fase, pereaksi, produk, dan gas yang terbentuk."

Penjelasan seperti ini penting karena siswa sering mengabaikan fase zat. Padahal, fase sangat penting dalam reaksi pengendapan, reaksi gas, reaksi asam-basa, reaksi ionik, dan elektrolisis. Misalnya, AgCl(s) menunjukkan endapan, sedangkan $Ag^+(aq)$ dan $Cl^-(aq)$ menunjukkan ion dalam larutan.

Guru juga perlu menekankan bahwa koefisien dapat diubah untuk menyetarakan reaksi, tetapi indeks dalam rumus zat tidak boleh diubah karena akan mengubah identitas zat. Misalnya, H_2O

tidak boleh diubah menjadi H_2O_2 hanya agar jumlah O seimbang. H_2O dan H_2O_2 adalah zat berbeda.

5.6.3 AI untuk Menjelaskan Penyetaraan Persamaan Reaksi

Penyetaraan persamaan reaksi merupakan keterampilan dasar yang sering dianggap prosedural. Siswa sering menghafal langkah, tetapi tidak memahami alasan di baliknya. Penyetaraan sebenarnya didasarkan pada hukum kekekalan atom. Jumlah atom setiap unsur di sisi pereaksi harus sama dengan jumlah atom unsur yang sama di sisi produk.

AI dapat membantu membuat panduan bertahap. Contoh prompt:

"Buat panduan bertahap menyetarakan persamaan reaksi untuk siswa SMA. Gunakan contoh pembakaran propana: $C_3H_8 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$. Jelaskan bahwa hanya koefisien yang boleh diubah, bukan indeks. Sertakan tabel jumlah atom sebelum dan sesudah penyetaraan, kesalahan umum, dan latihan."

Contoh langkah:

1. Tulis persamaan belum setara.
2. Hitung jumlah atom setiap unsur di kiri dan kanan.
3. Setarakan unsur yang muncul dalam satu zat di tiap sisi terlebih dahulu.
4. Setarakan C: $C_3H_8 \rightarrow 3CO_2$.
5. Setarakan H: $C_3H_8 \rightarrow 4H_2O$.
6. Hitung O di produk: $3CO_2$ mengandung 6 O dan $4H_2O$ mengandung 4 O, total 10 O.
7. Setarakan O_2 menjadi $5O_2$.
8. Periksa ulang semua atom.

Hasil:

$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$

AI juga dapat membantu membuat latihan penyetaraan dari mudah ke sulit. Namun, guru harus memeriksa semua kunci karena AI kadang menghasilkan koefisien salah.

5.6.4 Kesalahan Umum dalam Penyetaraan Reaksi

Kesalahan umum pertama adalah mengubah indeks. Misalnya, siswa mengubah H_2O menjadi H_2O_2 agar jumlah oksigen sesuai. Ini salah karena mengubah zat. Kesalahan kedua adalah tidak memeriksa ulang semua unsur setelah menyetarakan. Kesalahan ketiga adalah menyetarakan oksigen atau hidrogen terlalu awal pada reaksi organik, padahal sering lebih mudah menyetarakan C dan H terlebih dahulu. Kesalahan keempat adalah mengabaikan ion poliatom yang tetap sebagai satu kesatuan dalam beberapa reaksi. Kesalahan kelima adalah melupakan muatan pada persamaan ionik atau redoks.

AI dapat membantu membuat aktivitas koreksi kesalahan. Contoh prompt:

“Buat aktivitas koreksi kesalahan penyetaraan reaksi untuk siswa SMA. Berikan lima persamaan reaksi yang sudah disetarakan secara salah. Siswa diminta menemukan kesalahan, menjelaskan alasan, dan menulis persamaan yang benar. Sertakan kunci dan pembahasan.”

Contoh aktivitas:

Salah:
$H_2 + O_2 \rightarrow H_2O_2$

Pertanyaan:
“Apakah cara ini benar untuk menyetarakan pembentukan air? Jelaskan.”

Perbaikan:
Tidak benar. H_2O_2 adalah hidrogen peroksida, bukan air. Persamaan yang benar untuk pembentukan air adalah:

$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

Aktivitas seperti ini membantu siswa memahami bahwa penyetaraan bukan mengubah rumus, tetapi mengubah jumlah partikel melalui koefisien.

5.6.5 AI untuk Memvisualisasikan Hukum Kekekalan Massa

Hukum kekekalan massa menyatakan bahwa massa total zat sebelum reaksi sama dengan massa total zat setelah reaksi dalam sistem tertutup. Pada level atom, hukum ini berarti jumlah atom tiap unsur tetap sama sebelum dan sesudah reaksi. Visualisasi sangat membantu karena siswa dapat melihat atom yang sama tersusun ulang.

AI dapat membantu membuat visual “sebelum-sesudah”. Prompt:

“Buat rancangan visual hukum kekekalan massa pada reaksi pembentukan air. Tampilkan sisi pereaksi dengan dua molekul H_2 dan satu molekul O_2, sisi produk dengan dua molekul H_2O, lalu beri tabel jumlah atom H dan O sebelum dan sesudah reaksi. Jelaskan bahwa massa kekal karena atom tidak hilang.”

Visual ini dapat digunakan untuk menjelaskan penyetaraan reaksi. Guru juga dapat membuat aktivitas:

“Siswa diberi kartu atom H dan O. Mereka diminta menyusun molekul H_2, O_2, dan H_2O, lalu menemukan jumlah molekul yang membuat atom sebelum dan sesudah sama.”

AI dapat membantu membuat instruksi dan lembar kerja. Aktivitas manipulatif seperti ini sangat efektif untuk siswa yang masih sulit memahami simbol.

5.6.6 AI untuk Menjelaskan Jenis-Jenis Reaksi Kimia

Jenis reaksi kimia sering diajarkan melalui klasifikasi, seperti reaksi sintesis, dekomposisi, penggantian tunggal, penggantian ganda, pembakaran, asam-basa, pengendapan, dan redoks. Klasifikasi ini berguna, tetapi tidak boleh menjadi hafalan pola tanpa pemahaman. Guru perlu menghubungkan jenis reaksi dengan perubahan partikel dan bukti makroskopik.

AI dapat membantu membuat tabel jenis reaksi. Contoh prompt:

"Buat tabel jenis-jenis reaksi kimia untuk siswa SMA. Kolom harus memuat jenis reaksi, pola umum, contoh reaksi setara, ciri makroskopik, penjelasan partikel, dan miskonsepsi yang perlu dihindari."

Contoh:

Jenis Reaksi	Pola Umum	Contoh
Sintesis	A + B → AB	$2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$
Dekomposisi	AB → A + B	$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$
Pembakaran	hidrokarbon + O_2 → CO_2 + H_2O	$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$
Pengendapan	ion membentuk padatan tak larut	$AgNO_3 + NaCl \rightarrow AgCl + NaNO_3$
Asam-basa	asam + basa → garam + air	$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$
Redoks	terjadi perubahan bilangan oksidasi	$Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$

AI dapat membantu menyusun visual pola reaksi, tetapi guru harus menegaskan bahwa beberapa reaksi dapat masuk lebih dari satu kategori. Misalnya, pembakaran juga merupakan reaksi redoks. Reaksi penggantian tunggal sering redoks. Klasifikasi bukan kotak mutlak.

5.6.7 AI untuk Menjelaskan Reaksi Pengendapan dan Persamaan Ion Bersih

Reaksi pengendapan sangat cocok untuk pembelajaran representasi makro-submikro-simbolik. Secara makroskopik, siswa melihat endapan terbentuk. Secara submikroskopik, ion-ion tertentu bergabung membentuk padatan tak larut. Secara simbolik, reaksi dapat ditulis sebagai persamaan molekul, persamaan ion lengkap, dan persamaan ion bersih.

Contoh:

$AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \rightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$

Persamaan ion lengkap:

$Ag^+(aq) + NO_3^-(aq) + Na^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s) + Na^+(aq) + NO_3^-(aq)$

Persamaan ion bersih:

$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$

AI dapat membantu membuat LKPD visual. Prompt:

“Buat LKPD visual reaksi pengendapan $AgNO_3$ dan NaCl untuk siswa SMA. LKPD harus memuat pengamatan makroskopik, diagram ion sebelum reaksi, pembentukan endapan AgCl, persamaan molekul, persamaan ion lengkap, persamaan ion bersih, konsep ion penonton, dan pertanyaan analisis.”

Miskonsepsi yang perlu dihindari adalah mengira semua ion dalam larutan ikut membentuk endapan. Ion Na^+ dan NO_3^- tetap berada dalam larutan sebagai ion penonton. Visualisasi ion penonton sangat membantu siswa memahami persamaan ion bersih.

5.6.8 AI untuk Menjelaskan Reaksi Asam-Basa

Reaksi asam-basa dapat dijelaskan pada berbagai tingkat. Pada tingkat awal, asam dan basa dapat dijelaskan melalui reaksi netralisasi menghasilkan garam dan air. Pada tingkat Arrhenius, asam menghasilkan H^+ dalam air dan basa menghasilkan OH^-. Pada tingkat Brønsted-Lowry, asam adalah donor proton dan basa adalah akseptor proton. Pemilihan tingkat penjelasan harus sesuai jenjang.

AI dapat membantu membuat bahan ajar bertahap. Prompt:

“Buat penjelasan reaksi asam-basa untuk siswa SMA. Mulai dari netralisasi HCl dan NaOH, persamaan molekul, persamaan ion lengkap, persamaan ion bersih $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$, lalu jelaskan secara sederhana konsep donor dan akseptor proton pada Brønsted-Lowry. Sertakan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Reaksi HCl dan NaOH:

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$$

Ion lengkap:

$$H^+(aq) + Cl^-(aq) + Na^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq) + H_2O(l)$$

Ion bersih:

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$$

Guru perlu menegaskan bahwa tidak semua reaksi asam-basa menghasilkan larutan dengan pH 7, terutama jika melibatkan asam lemah atau basa lemah. AI dapat membuat klaim terlalu umum, sehingga perlu validasi.

5.6.9 AI untuk Menjelaskan Reaksi Redoks

Reaksi redoks melibatkan perubahan bilangan oksidasi dan transfer elektron secara konseptual. Reduksi adalah penurunan bilangan oksidasi, sedangkan oksidasi adalah kenaikan bilangan oksidasi. Pada beberapa reaksi, transfer elektron dapat ditunjukkan secara langsung, seperti reaksi

logam Zn dengan ion Cu^{2+}. Namun, dalam banyak reaksi kovalen, transfer elektron tidak literal seperti perpindahan partikel penuh, sehingga bilangan oksidasi menjadi alat akuntansi elektron.

AI dapat membantu membuat visual reaksi redoks sederhana. Prompt:

"Buat penjelasan visual reaksi redoks $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$ untuk siswa SMA. Tampilkan Zn teroksidasi menjadi Zn^{2+} dengan melepas dua elektron, Cu^{2+} tereduksi menjadi Cu dengan menerima dua elektron, perubahan bilangan oksidasi, agen pereduksi, agen pengoksidasi, dan persamaan setara."

Penjelasan:

$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$
$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

Zn mengalami oksidasi dan bertindak sebagai reduktor. Cu^{2+} mengalami reduksi dan bertindak sebagai oksidator.

AI juga dapat membantu membuat latihan menentukan bilangan oksidasi. Namun, guru harus memvalidasi semua jawaban karena kesalahan bilangan oksidasi sering terjadi.

5.6.10 AI untuk Menjelaskan Persamaan Reaksi dan Stoikiometri

Persamaan reaksi menjadi dasar stoikiometri karena koefisien reaksi menunjukkan perbandingan mol. Siswa sering salah memahami koefisien sebagai perbandingan massa. Misalnya, pada reaksi:

$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

Koefisien 2 : 1 : 2 menunjukkan perbandingan molekul atau mol, bukan perbandingan gram secara langsung. Perbandingan massa harus dihitung menggunakan massa molar.

AI dapat membantu membuat visual hubungan koefisien-mol-massa. Prompt:

"Buat penjelasan visual hubungan persamaan reaksi setara dengan stoikiometri. Gunakan contoh $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$. Jelaskan bahwa koefisien menunjukkan perbandingan molekul dan mol, lalu tunjukkan cara mengubah mol ke massa menggunakan massa molar. Sertakan miskonsepsi bahwa koefisien bukan perbandingan massa langsung."

Visual dapat menunjukkan tiga level:

1. Partikel: 2 molekul H_2 + 1 molekul O_2 → 2 molekul H_2O.
2. Mol: 2 mol H_2 + 1 mol O_2 → 2 mol H_2O.
3. Massa: 4 g H_2 + 32 g O_2 → 36 g H_2O.

Dengan visual ini, siswa memahami hubungan kuantitatif persamaan reaksi.

5.6.11 AI untuk Menjelaskan Simbol Fase dalam Reaksi Kimia

Simbol fase sering dianggap detail kecil, padahal sangat penting. Simbol (s), (l), (g), dan (aq) memberi informasi tentang keadaan zat dan lingkungan reaksi. Pada reaksi pengendapan, simbol (s) menunjukkan zat padat/endapan. Pada reaksi gas, (g) menunjukkan gas yang terbentuk. Pada reaksi ionik, (aq) menunjukkan ion atau zat terlarut dalam air.

AI dapat membantu membuat bahan ajar khusus simbol fase. Prompt:

"Buat bahan ajar singkat tentang simbol fase dalam persamaan reaksi kimia untuk siswa SMA. Jelaskan makna (s), (l), (g), dan (aq), berikan contoh reaksi pengendapan, reaksi gas, dan reaksi asam-basa. Sertakan latihan menentukan simbol fase dan miskonsepsi umum."

Contoh:

$CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$

Siswa dapat melihat bahwa $CO_2(g)$ adalah gas yang terbentuk, sedangkan $CaCl_2(aq)$ tetap dalam larutan. Simbol fase juga membantu siswa menulis persamaan ionik. Zat yang (aq) dan elektrolit kuat dapat ditulis sebagai ion, sedangkan zat (s), (l), dan gas biasanya tidak dipecah menjadi ion dalam persamaan ion lengkap.

5.6.12 AI untuk Membuat Animasi Reaksi Kimia

Animasi dapat membantu siswa memahami bahwa reaksi kimia melibatkan tumbukan partikel, pemutusan ikatan, pembentukan ikatan, dan penyusunan ulang atom. Namun, animasi harus disederhanakan dengan hati-hati. Tidak semua reaksi terjadi melalui tumbukan sederhana yang dapat digambarkan seperti bola saling menabrak. Untuk pembelajaran dasar, animasi konseptual tetap berguna asalkan batas model dijelaskan.

Prompt storyboard:

"Buat storyboard animasi 90 detik tentang reaksi pembentukan air dari hidrogen dan oksigen. Tampilkan molekul H_2 dan O_2, tumbukan efektif secara konseptual, pemutusan ikatan lama, pembentukan ikatan O–H, terbentuknya H_2O, dan hukum kekekalan atom. Sertakan narasi dan batas model."

Untuk reaksi pengendapan:

"Buat storyboard animasi reaksi Ag^+ dan Cl^- membentuk endapan AgCl. Tampilkan ion-ion dalam larutan, ion penonton, pertemuan Ag^+ dan Cl^-, pembentukan padatan AgCl, dan persamaan ion bersih. Sertakan label."

Animasi yang baik harus menampilkan atom/ion secara konsisten dan tidak menghilangkan atom. Guru harus memvalidasi sebelum digunakan.

5.6.13 AI untuk Membuat Latihan Bertahap Persamaan Reaksi

Latihan bertahap membantu siswa menguasai persamaan reaksi dari dasar hingga aplikasi. AI dapat membantu membuat paket latihan bertingkat:

1. Mengidentifikasi pereaksi dan produk.
2. Menulis rumus zat dari nama zat.
3. Menentukan simbol fase.
4. Menyetarakan reaksi sederhana.
5. Menyetarakan reaksi pembakaran.
6. Menulis persamaan ion lengkap.
7. Menulis persamaan ion bersih.
8. Menghubungkan koefisien dengan mol.
9. Menentukan jenis reaksi.
10. Menganalisis kesalahan persamaan.

Prompt:

"Buat latihan bertahap tentang persamaan reaksi kimia untuk siswa SMA. Latihan harus dimulai dari mengidentifikasi pereaksi-produk, menyetarakan reaksi, menentukan jenis reaksi, menulis persamaan ion bersih, dan menggunakan koefisien untuk perbandingan mol. Sertakan kunci dan pembahasan."

Guru perlu memeriksa semua persamaan. AI kadang membuat produk reaksi yang tidak sesuai atau persamaan yang tidak setara.

5.6.14 AI untuk Membuat Soal Diagnostik Reaksi Kimia

Soal diagnostik dapat mengungkap miskonsepsi siswa. Beberapa miskonsepsi pada reaksi kimia dan persamaan reaksi antara lain:

1. Indeks boleh diubah untuk menyetarakan reaksi.
2. Koefisien menunjukkan massa langsung.
3. Atom dapat hilang saat reaksi.
4. Persamaan reaksi hanya simbol, tidak mewakili partikel.
5. Semua reaksi menghasilkan gas atau perubahan warna.
6. Semua zat larut ditulis sebagai molekul, bukan ion.
7. Ion penonton ikut bereaksi membentuk produk utama.
8. Reaksi asam-basa selalu menghasilkan pH netral.
9. Redoks selalu melibatkan oksigen.
10. Reaksi kimia dan perubahan fisika selalu mudah dibedakan dari tampilan luar.

Prompt:

“Buat asesmen diagnostik reaksi kimia dan persamaan reaksi untuk siswa SMA. Buat 10 soal two-tier yang menargetkan miskonsepsi tentang penyetaraan, koefisien, indeks, kekekalan atom, simbol fase, persamaan ion bersih, dan jenis reaksi. Sertakan kunci, interpretasi, dan tindak lanjut.”

Soal diagnostik membantu guru mengetahui apakah siswa memahami makna persamaan reaksi atau hanya mengikuti prosedur.

5.6.15 AI untuk Memberikan Umpan Balik Kesalahan Penyetaraan

AI dapat membantu guru membuat bank umpan balik untuk kesalahan umum. Umpan balik harus spesifik. Misalnya, jika siswa mengubah indeks, umpan balik harus menjelaskan bahwa rumus zat berubah.

Prompt:

“Buat bank umpan balik untuk kesalahan siswa dalam menyetarakan persamaan reaksi. Jenis kesalahan: mengubah indeks, tidak memeriksa ulang atom, salah menghitung atom dalam senyawa poliatom, salah menempatkan koefisien, dan mengabaikan muatan pada persamaan ionik. Untuk setiap kesalahan, tulis umpan balik singkat dan pertanyaan pemandu.”

Contoh umpan balik:

“Perhatikan bahwa angka kecil dalam rumus zat adalah bagian dari identitas zat. Mengubah H_2O menjadi H_2O_2 bukan menyetarakan reaksi, tetapi mengganti air menjadi hidrogen peroksida. Coba setarakan kembali hanya dengan mengubah koefisien di depan rumus.”

Umpan balik seperti ini membantu siswa memperbaiki proses berpikir.

5.6.16 AI untuk Menghubungkan Reaksi Kimia dengan Representasi Partikel

Reaksi kimia harus diajarkan sebagai perubahan pada level partikel. AI dapat membantu membuat aktivitas yang menghubungkan persamaan reaksi dengan model partikel. Misalnya, siswa diberi persamaan reaksi dan diminta menggambar partikel sebelum dan sesudah reaksi. Atau sebaliknya, siswa diberi diagram partikel dan diminta menulis persamaan reaksi.

Prompt:

“Buat aktivitas representasi partikel untuk persamaan reaksi kimia. Siswa diberi diagram partikel sederhana untuk reaksi $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$, lalu diminta menulis persamaan setara, menghitung jumlah atom sebelum-sesudah, dan menjelaskan makna koefisien. Sertakan kunci dan pertanyaan analisis.”

Aktivitas ini membantu siswa memahami perbandingan molekul. Guru dapat menggunakan kartu atom atau gambar sederhana. AI dapat membantu menyusun instruksi dan rubrik.

Visual partikel juga membantu menjelaskan pereaksi pembatas. Jika siswa melihat jumlah partikel yang tersedia, mereka dapat memahami mengapa salah satu pereaksi habis lebih dulu. Ini menjadi jembatan menuju stoikiometri.

5.6.17 AI untuk Menjelaskan Reaksi Kimia dalam Konteks Kehidupan

Reaksi kimia lebih bermakna jika dikaitkan dengan konteks nyata. AI dapat membantu membuat bahan ajar kontekstual tentang reaksi pembakaran, korosi, fermentasi, fotosintesis, respirasi, reaksi asam-basa dalam kehidupan sehari-hari, reaksi pengendapan dalam kualitas air, dan reaksi redoks pada baterai.

Prompt:

“Buat bahan ajar kontekstual tentang reaksi kimia dalam kehidupan sehari-hari untuk siswa SMA. Gunakan contoh pembakaran LPG, korosi besi, reaksi cuka dan soda kue, fotosintesis, dan reaksi baterai. Untuk setiap contoh, tuliskan fenomena makroskopik, persamaan reaksi sederhana jika sesuai, penjelasan partikel, dan konsep yang dipelajari.”

Guru perlu memastikan konteks aman. Misalnya, reaksi cuka dan soda kue dapat digunakan sebagai demonstrasi aman dalam jumlah kecil, tetapi guru harus tetap memberi instruksi keselamatan. Untuk pembakaran LPG, cukup sebagai konteks konseptual, bukan praktikum bebas.

Konteks membantu siswa melihat fungsi persamaan reaksi sebagai bahasa untuk menjelaskan fenomena nyata.

5.6.18 Validasi Persamaan Reaksi Berbantuan AI

Validasi adalah tahap wajib. Setiap persamaan reaksi yang dihasilkan AI harus diperiksa. Aspek validasi meliputi:

1. Rumus zat benar.
2. Produk reaksi benar.
3. Koefisien setara.
4. Jumlah atom seimbang.
5. Muatan seimbang untuk persamaan ionik.
6. Fase zat sesuai.
7. Persamaan ion lengkap tepat.
8. Persamaan ion bersih tepat.
9. Ion penonton diidentifikasi benar.
10. Jenis reaksi tidak diklasifikasikan secara keliru.
11. Konteks reaksi realistis.
12. Keselamatan diperhatikan jika reaksi digunakan dalam praktikum.

Prompt validasi:

“Tinjau persamaan reaksi berikut. Periksa rumus zat, produk, koefisien, jumlah atom, muatan, simbol fase, jenis reaksi, dan kemungkinan miskonsepsi. Berikan revisi jika ada kesalahan.”

Guru tetap harus memvalidasi secara manual. Untuk reaksi yang kompleks, gunakan buku teks, data kimia, atau sumber tepercaya.

5.6.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu menguasai cara menjelaskan reaksi kimia dan persamaan reaksi secara multirepresentasional. AI dapat membantu membuat visual, animasi, latihan, soal, dan umpan balik. Namun, guru harus memastikan bahwa siswa tidak hanya belajar menyetarakan secara mekanis, tetapi memahami makna reaksi pada level partikel, simbolik, dan kuantitatif.

Calon guru kimia perlu dilatih menggunakan AI untuk membuat bahan ajar persamaan reaksi, lalu memvalidasi setiap persamaan. Mereka dapat diberi tugas membuat LKPD penyetaraan reaksi, visual reaksi pengendapan, soal diagnostik persamaan ion bersih, dan aktivitas koreksi kesalahan. Setiap produk harus disertai validasi konsep.

Contoh tugas:

“Gunakan AI untuk membuat bahan ajar visual tentang persamaan reaksi. Produk harus memuat penjelasan hukum kekekalan massa, penyetaraan reaksi, simbol fase, persamaan ion lengkap, persamaan ion bersih, dan latihan. Validasi semua persamaan reaksi dan jelaskan revisinya.”

Dengan tugas ini, calon guru belajar bahwa AI dapat membantu, tetapi akurasi reaksi tetap tanggung jawab guru.

Dengan demikian, AI dapat membantu menjelaskan reaksi kimia dan persamaan reaksi melalui visualisasi partikel, tabel atom sebelum-sesudah, animasi, latihan penyetaraan, persamaan ionik, konteks kehidupan, soal diagnostik, dan umpan balik adaptif. Namun, guru harus memvalidasi setiap rumus, koefisien, fase, muatan, produk, dan interpretasi. Persamaan reaksi berbantuan AI yang baik harus membantu siswa memahami bahwa reaksi kimia adalah penyusunan ulang atom yang tunduk pada hukum kekekalan massa dan dapat dinyatakan secara simbolik, partikel, dan kuantitatif.

5.7 AI untuk Memahami Mekanisme Reaksi Kimia

Mekanisme reaksi kimia merupakan penjelasan bertahap tentang bagaimana suatu reaksi berlangsung pada tingkat partikel. Jika persamaan reaksi menyatakan keadaan awal dan akhir suatu reaksi, maka mekanisme reaksi berusaha menjelaskan jalur yang dilalui dari pereaksi menuju produk. Mekanisme membahas tahapan elementer, pembentukan zat antara, keadaan transisi, pemutusan dan pembentukan ikatan, perpindahan elektron, perpindahan proton, tumbukan efektif, orientasi molekul, serta perubahan energi sepanjang jalur reaksi. Dengan demikian, mekanisme reaksi memberi kedalaman konseptual yang tidak dapat diperoleh hanya dari persamaan reaksi total.

Dalam pembelajaran kimia, mekanisme reaksi sering dianggap sulit karena bersifat sangat abstrak dan dinamis. Peserta didik tidak dapat melihat secara langsung bagaimana molekul saling mendekat, bagaimana elektron bergeser, bagaimana ikatan lama melemah, bagaimana ikatan baru terbentuk, atau bagaimana zat antara muncul dan kemudian hilang. Mekanisme juga menuntut pemahaman beberapa konsep sekaligus: struktur molekul, polaritas ikatan, muatan parsial, pasangan elektron bebas, orbital, energi aktivasi, katalis, laju reaksi, dan kestabilan zat antara. Karena itu, visualisasi menjadi sangat penting.

AI dapat membantu guru menjelaskan mekanisme reaksi melalui diagram alur, narasi tahap demi tahap, animasi konseptual, peta energi reaksi, diagram koordinat reaksi, visual panah elektron, analogi terbatas, simulasi partikel sederhana, dan aktivitas koreksi miskonsepsi. AI juga dapat membantu menyusun pertanyaan pemandu agar siswa tidak hanya menghafal mekanisme, tetapi memahami alasan setiap tahap. Namun, penggunaan AI untuk mekanisme reaksi harus sangat hati-hati karena kesalahan kecil dalam arah panah elektron, muatan, struktur zat antara, atau urutan tahapan dapat menghasilkan pemahaman yang salah.

Pada tingkat sekolah menengah, mekanisme reaksi tidak harus diajarkan terlalu teknis seperti pada kimia organik perguruan tinggi. Guru dapat mengenalkan mekanisme secara konseptual melalui contoh sederhana: reaksi asam-basa sebagai perpindahan proton, reaksi redoks sebagai perpindahan elektron, reaksi pengendapan sebagai pertemuan ion yang membentuk padatan, reaksi esterifikasi sebagai proses bertahap, atau reaksi substitusi sederhana sebagai penggantian gugus. Pada tingkat mahasiswa, mekanisme dapat dikembangkan lebih formal dengan panah lengkung, nukleofil, elektrofil, zat antara, keadaan transisi, energi aktivasi, dan stereokimia.

5.7.1 Makna Mekanisme Reaksi dalam Kimia

Mekanisme reaksi adalah uraian tentang rangkaian tahapan elementer yang menjelaskan bagaimana pereaksi berubah menjadi produk. Persamaan reaksi total hanya menunjukkan keseluruhan perubahan, sedangkan mekanisme menjelaskan proses yang lebih rinci. Misalnya, persamaan reaksi umum dapat menyatakan bahwa A dan B menghasilkan C. Namun, mekanisme dapat menunjukkan bahwa A terlebih dahulu membentuk zat antara I, kemudian I bereaksi dengan B membentuk C. Dengan demikian, mekanisme memberi informasi tentang jalur reaksi.

Dalam kimia, mekanisme reaksi penting karena tidak semua reaksi berlangsung dalam satu langkah. Banyak reaksi berlangsung melalui beberapa tahap. Tahap-tahap tersebut dapat melibatkan pembentukan spesies sementara seperti radikal, karbokation, karbanion, kompleks teraktivasi, atau zat antara lain. Zat antara biasanya tidak muncul dalam persamaan reaksi total karena terbentuk pada satu tahap dan dikonsumsi pada tahap berikutnya. Namun, keberadaan zat antara sangat penting untuk memahami jalannya reaksi.

AI dapat membantu guru menjelaskan perbedaan antara persamaan reaksi total dan mekanisme reaksi. Contoh prompt:

“Buat penjelasan untuk siswa SMA/mahasiswa awal tentang perbedaan persamaan reaksi total dan mekanisme reaksi. Gunakan analogi terbatas perjalanan dari kota A ke kota C melalui kota B.

Jelaskan bahwa persamaan reaksi menunjukkan awal dan akhir, sedangkan mekanisme menunjukkan tahapan jalur. Sertakan contoh sederhana dan batas analogi."

Analogi perjalanan dapat membantu, tetapi guru perlu menegaskan bahwa molekul bukan manusia yang memilih jalan. Mekanisme ditentukan oleh struktur, energi, orientasi, dan interaksi partikel.

5.7.2 Mekanisme sebagai Jembatan antara Struktur dan Reaktivitas

Mekanisme reaksi menghubungkan struktur molekul dengan reaktivitas. Molekul tidak bereaksi secara acak. Bagian molekul yang kaya elektron cenderung berinteraksi dengan bagian yang miskin elektron. Ikatan polar dapat menentukan arah serangan nukleofil atau elektrofil. Gugus fungsi menentukan kemungkinan reaksi. Kestabilan zat antara memengaruhi jalur reaksi yang lebih mungkin. Oleh karena itu, mekanisme membantu siswa memahami mengapa suatu reaksi terjadi dengan cara tertentu.

Misalnya, dalam reaksi asam-basa Brønsted-Lowry, molekul atau ion yang memiliki pasangan elektron bebas dapat menerima proton. Dalam reaksi nukleofilik, spesies kaya elektron menyerang pusat elektrofilik yang miskin elektron. Dalam reaksi redoks, terjadi perubahan bilangan oksidasi yang dapat dipahami sebagai perpindahan elektron secara formal. Dalam reaksi pengendapan, ion-ion tertentu bergabung karena menghasilkan padatan yang sukar larut.

AI dapat membantu membuat peta konsep:

"Buat peta konsep yang menghubungkan struktur molekul, polaritas ikatan, pasangan elektron bebas, muatan parsial, nukleofil, elektrofil, zat antara, keadaan transisi, energi aktivasi, dan produk reaksi. Gunakan bahasa mahasiswa awal kimia."

Peta konsep ini membantu siswa memahami bahwa mekanisme bukan hafalan anak panah, melainkan penalaran berdasarkan struktur dan energi.

5.7.3 AI untuk Menjelaskan Tahapan Elementer

Tahapan elementer adalah langkah sederhana dalam mekanisme reaksi yang menggambarkan satu peristiwa molekuler. Tahapan elementer dapat berupa tumbukan dua partikel, pemutusan ikatan, pembentukan ikatan, perpindahan proton, atau perpindahan elektron. Mekanisme reaksi terdiri atas satu atau lebih tahapan elementer. Laju reaksi total sering ditentukan oleh tahap paling lambat, yang disebut tahap penentu laju.

AI dapat membantu menjelaskan tahapan elementer melalui narasi bertahap. Contoh prompt:

"Jelaskan konsep tahapan elementer dalam mekanisme reaksi untuk siswa SMA lanjutan atau mahasiswa awal. Bedakan antara reaksi total dan tahap elementer. Jelaskan konsep zat antara, keadaan transisi, dan tahap penentu laju dengan bahasa sederhana. Sertakan contoh konseptual tanpa perhitungan rumit."

Penjelasan harus menekankan bahwa tahapan elementer bukan sekadar langkah penyetaraan reaksi. Tahapan elementer menggambarkan proses molekuler yang secara konseptual dapat terjadi. Jika suatu mekanisme diusulkan, jumlah seluruh tahapan harus menghasilkan persamaan reaksi total setelah zat antara dibatalkan.

Guru juga dapat meminta AI membuat latihan:

“Buat latihan sederhana: diberikan dua tahap mekanisme, siswa diminta menjumlahkan tahapan, mengidentifikasi zat antara, dan menentukan persamaan reaksi total. Sertakan kunci dan pembahasan.”

Latihan ini membantu siswa memahami hubungan antara mekanisme dan persamaan reaksi total.

5.7.4 AI untuk Memvisualisasikan Keadaan Transisi dan Energi Aktivasi

Keadaan transisi adalah keadaan berenergi tinggi yang terjadi selama perubahan dari pereaksi menuju produk. Pada keadaan transisi, ikatan lama sedang melemah dan ikatan baru sedang terbentuk. Keadaan transisi berbeda dari zat antara. Zat antara memiliki keberadaan sementara pada lembah energi relatif, sedangkan keadaan transisi berada pada puncak energi sepanjang koordinat reaksi.

Energi aktivasi adalah energi minimum yang diperlukan agar reaksi dapat melewati keadaan transisi. Konsep ini sangat penting dalam laju reaksi dan katalisis. Visualisasi diagram koordinat reaksi sangat membantu siswa memahami energi aktivasi, perubahan energi reaksi, zat antara, dan keadaan transisi.

AI dapat membantu membuat rancangan diagram energi:

“Buat penjelasan visual diagram koordinat reaksi untuk mekanisme dua tahap. Tampilkan energi pereaksi, keadaan transisi pertama, zat antara, keadaan transisi kedua, produk, energi aktivasi tiap tahap, perubahan energi reaksi, dan tahap penentu laju. Gunakan bahasa siswa SMA lanjutan/mahasiswa awal.”

Guru harus memastikan bahwa diagram tidak disalahpahami. Tinggi puncak menunjukkan energi relatif keadaan transisi. Lembah di antara puncak menunjukkan zat antara. Tahap dengan energi aktivasi terbesar biasanya menjadi tahap paling lambat dan dapat menjadi tahap penentu laju. Namun, penjelasan harus disesuaikan dengan tingkat siswa.

AI juga dapat membantu membuat analogi terbatas seperti mendaki dua bukit, tetapi guru perlu memberi batas bahwa reaksi bukan perjalanan fisik benda besar; diagram energi adalah representasi perubahan energi sistem.

5.7.5 AI untuk Menjelaskan Peran Katalis dalam Mekanisme Reaksi

Katalis mempercepat reaksi dengan menyediakan jalur reaksi alternatif yang memiliki energi aktivasi lebih rendah. Katalis tidak habis dalam reaksi total karena dikonsumsi dan terbentuk

kembali dalam tahapan mekanisme. Katalis tidak mengubah perubahan energi total reaksi dan tidak mengubah posisi kesetimbangan, tetapi mempercepat tercapainya kesetimbangan.

Miskonsepsi yang sering muncul adalah bahwa katalis "menambah energi" pada reaksi, "membuat produk lebih banyak", atau "menggeser kesetimbangan ke arah produk". Visualisasi mekanisme dapat membantu meluruskan miskonsepsi ini.

AI dapat membantu membuat visual perbandingan jalur reaksi dengan dan tanpa katalis:

"Buat rancangan visual peran katalis dalam mekanisme reaksi. Tampilkan dua diagram energi: jalur tanpa katalis dengan energi aktivasi tinggi dan jalur berkatalis dengan energi aktivasi lebih rendah. Jelaskan bahwa katalis menyediakan jalur alternatif, tidak habis dalam reaksi total, tidak mengubah ΔH, dan tidak mengubah nilai K kesetimbangan."

Guru juga dapat meminta AI membuat contoh mekanisme sederhana yang melibatkan katalis. Namun, untuk contoh nyata, guru harus memvalidasi struktur dan tahapan. Pada tingkat sekolah menengah, cukup menjelaskan secara konseptual. Pada tingkat perguruan tinggi, dapat digunakan contoh katalisis asam-basa, katalisis enzim, atau katalisis heterogen secara lebih rinci.

5.7.6 AI untuk Menjelaskan Panah Elektron dalam Mekanisme Organik

Dalam kimia organik, mekanisme reaksi sering digambarkan menggunakan panah lengkung untuk menunjukkan perpindahan pasangan elektron. Panah lengkung tidak menunjukkan gerak atom secara fisik, tetapi aliran elektron dari daerah kaya elektron menuju daerah miskin elektron. Panah harus dimulai dari pasangan elektron, ikatan, atau muatan negatif, dan berakhir pada atom atau ikatan yang menerima elektron. Kesalahan arah panah dapat mengubah makna mekanisme.

AI dapat membantu menjelaskan prinsip panah elektron. Contoh prompt:

"Buat penjelasan dasar tentang penggunaan panah lengkung dalam mekanisme reaksi organik untuk mahasiswa awal. Jelaskan bahwa panah menunjukkan perpindahan pasangan elektron, bukan perpindahan atom. Berikan aturan: panah dimulai dari sumber elektron dan menuju penerima elektron. Sertakan contoh reaksi asam-basa sederhana dan kesalahan umum."

Contoh reaksi asam-basa organik sederhana:

$NH_3 + H^+ \rightarrow NH_4^+$

Panah lengkung berasal dari pasangan elektron bebas pada N menuju H^+. Ini menunjukkan bahwa pasangan elektron N digunakan untuk membentuk ikatan N–H. Guru harus menekankan bahwa H^+ tidak "menyerang" dalam arti membawa elektron; spesies kaya elektron mendonorkan pasangan elektron.

AI dapat membantu membuat latihan "perbaiki panah yang salah". Namun, guru perlu memvalidasi setiap mekanisme.

5.7.7 AI untuk Menjelaskan Nukleofil dan Elektrofil

Nukleofil adalah spesies kaya elektron yang cenderung mendonorkan pasangan elektron untuk membentuk ikatan. Elektrofil adalah spesies miskin elektron yang cenderung menerima pasangan elektron. Konsep nukleofil dan elektrofil sangat penting dalam mekanisme organik dan reaksi asam-basa Lewis.

Siswa sering menghafal nukleofil sebagai "negatif" dan elektrofil sebagai "positif", padahal tidak selalu sesederhana itu. Banyak nukleofil memang bermuatan negatif, tetapi molekul netral yang memiliki pasangan elektron bebas juga dapat bertindak sebagai nukleofil. Banyak elektrofil bermuatan positif, tetapi atom dengan muatan parsial positif dalam ikatan polar juga dapat bersifat elektrofilik.

AI dapat membantu membuat tabel:

"Buat tabel penjelasan nukleofil dan elektrofil untuk mahasiswa awal. Kolom: definisi, ciri umum, contoh bermuatan, contoh netral, posisi dalam mekanisme, arah panah elektron, dan miskonsepsi umum."

Contoh nukleofil: OH^-, Cl^-, NH_3, H_2O, RO^-.
Contoh elektrofil: H^+, C karbonil pada aldehida/keton, alkil halida pada karbon yang terikat halogen, BF_3.

AI juga dapat membantu membuat visual muatan parsial:

"Buat visual konseptual molekul CH_3Cl sebagai contoh pusat elektrofilik. Tampilkan ikatan C–Cl polar, $C\delta^+$ dan $Cl\delta^-$, serta kemungkinan serangan nukleofil pada karbon."

Guru perlu menyesuaikan contoh dengan tingkat siswa.

5.7.8 AI untuk Menjelaskan Mekanisme Reaksi Asam-Basa

Reaksi asam-basa adalah pintu masuk yang baik untuk memahami mekanisme karena relatif sederhana. Dalam perspektif Brønsted-Lowry, asam mendonorkan proton dan basa menerima proton. Dalam perspektif Lewis, basa mendonorkan pasangan elektron dan asam menerima pasangan elektron. Panah elektron dapat digunakan untuk menunjukkan pasangan elektron dari basa menuju proton.

Contoh:

$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$

Dalam reaksi ini, NH_3 bertindak sebagai basa karena menerima proton dari H_2O. H_2O bertindak sebagai asam karena mendonorkan proton. Secara panah elektron, pasangan elektron bebas pada N menyerang H pada H_2O, sementara ikatan O–H berpindah ke O untuk menghasilkan OH^-.

AI dapat membantu membuat penjelasan bertahap:

“Buat penjelasan mekanisme reaksi asam-basa NH_3 dengan H_2O untuk mahasiswa awal. Jelaskan donor proton, akseptor proton, pasangan asam-basa konjugasi, arah panah elektron, dan perubahan muatan. Gunakan bahasa sederhana dan sertakan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Miskonsepsi yang perlu dihindari:

1. Proton berpindah bersama elektronnya.
2. Panah menunjukkan gerak proton, bukan elektron.
3. Basa selalu bermuatan negatif.
4. Air selalu hanya pelarut dan tidak ikut bereaksi.

Reaksi asam-basa membantu siswa memahami logika mekanisme sebelum masuk reaksi organik yang lebih kompleks.

5.7.9 AI untuk Menjelaskan Mekanisme Substitusi Sederhana

Pada tingkat mahasiswa awal, mekanisme substitusi nukleofilik dapat digunakan untuk menjelaskan bagaimana satu gugus digantikan oleh gugus lain. Dua model umum adalah SN1 dan SN2. Namun, pengenalan SN1 dan SN2 harus dilakukan bertahap karena melibatkan nukleofil, gugus pergi, karbokation, keadaan transisi, stereokimia, dan faktor pelarut.

Untuk pembelajaran awal, guru dapat mengenalkan substitusi secara konseptual: nukleofil menyerang atom karbon elektrofilik, sementara gugus pergi meninggalkan molekul. Pada mekanisme SN2, serangan nukleofil dan keluarnya gugus pergi terjadi dalam satu tahap serentak. Pada SN1, gugus pergi keluar terlebih dahulu membentuk karbokation, lalu nukleofil menyerang.

AI dapat membantu membuat visual perbandingan:

“Buat penjelasan visual perbandingan mekanisme SN1 dan SN2 untuk mahasiswa kimia awal. Jelaskan jumlah tahap, zat antara, keadaan transisi, pengaruh struktur substrat, stereokimia secara sederhana, dan profil energi. Sertakan miskonsepsi umum dan batas pembahasan.”

Guru harus memvalidasi contoh. Misalnya, tert-butil klorida sering digunakan untuk SN1, sedangkan metil bromida atau etil halida primer untuk SN2. Namun, detail pelarut, kekuatan nukleofil, dan gugus pergi perlu disesuaikan dengan tingkat pembelajaran.

Jika konteks buku untuk pembelajaran kimia SMA, bagian ini cukup sebagai pengayaan atau contoh bagaimana AI dapat membantu membuat visual mekanisme, bukan materi wajib.

5.7.10 AI untuk Menjelaskan Mekanisme Adisi pada Ikatan Rangkap

Reaksi adisi pada alkena merupakan contoh mekanisme yang memperlihatkan peran ikatan rangkap sebagai daerah kaya elektron. Ikatan pi pada alkena dapat bereaksi dengan elektrofil. Misalnya, pada adisi HBr ke etena, elektron pi menyerang H dari HBr, ikatan H–Br putus menuju

Br, terbentuk karbokation sementara, lalu Br^- menyerang karbokation membentuk bromoetana. Untuk alkena tidak simetris, aturan Markovnikov dapat dibahas pada tingkat lebih lanjut.

AI dapat membantu membuat storyboard:

"Buat storyboard mekanisme adisi HBr pada etena untuk mahasiswa awal. Tampilkan ikatan pi sebagai sumber elektron, HBr sebagai pereaksi polar, pembentukan karbokation, serangan Br^-, dan pembentukan bromoetana. Gunakan panah elektron dan jelaskan setiap tahap."

Guru harus memvalidasi panah. Panah harus berasal dari ikatan pi menuju H, dan dari ikatan H–Br menuju Br. Jika AI menggambar arah panah sebaliknya, harus diperbaiki. Ini menunjukkan pentingnya validasi mekanisme.

Untuk tingkat SMA, cukup dapat dijelaskan bahwa ikatan rangkap dapat "terbuka" untuk menambahkan atom/gugus baru, tetapi istilah "terbuka" harus dijelaskan sebagai penyederhanaan.

5.7.11 AI untuk Menjelaskan Mekanisme Reaksi Redoks

Mekanisme redoks dapat dijelaskan melalui setengah reaksi oksidasi dan reduksi. Dalam beberapa reaksi sederhana, transfer elektron dapat divisualisasikan secara langsung. Contoh $Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$ sangat baik untuk pengantar. Zn kehilangan elektron, sedangkan Cu^{2+} menerima elektron. Elektron yang dilepas Zn diterima Cu^{2+}.

AI dapat membantu membuat visual:

"Buat visual mekanisme konseptual reaksi redoks Zn dengan Cu^{2+}. Tampilkan Zn teroksidasi menjadi Zn^{2+}, Cu^{2+} tereduksi menjadi Cu, elektron berpindah, perubahan bilangan oksidasi, dan hubungan dengan setengah reaksi. Gunakan bahasa SMA."

Untuk elektrokimia, mekanisme harus memperhatikan tempat reaksi. Pada sel volta, oksidasi terjadi di anode, reduksi di katode, elektron mengalir melalui kawat luar, dan ion bergerak dalam elektrolit atau jembatan garam. AI sering bisa salah menyatakan elektron mengalir melalui jembatan garam, sehingga guru harus memvalidasi.

Prompt validasi:

"Periksa penjelasan mekanisme redoks berikut. Pastikan arah elektron, lokasi oksidasi-reduksi, bilangan oksidasi, dan fungsi jembatan garam benar."

Redoks merupakan area yang sangat membutuhkan visualisasi karena melibatkan elektron yang tidak terlihat dan perubahan bilangan oksidasi yang abstrak.

5.7.12 AI untuk Menjelaskan Mekanisme Reaksi Pengendapan

Reaksi pengendapan dapat dipahami sebagai mekanisme pertemuan ion-ion tertentu dalam larutan yang membentuk padatan tak larut. Walaupun mekanisme detail nukleasi kristal dapat kompleks,

untuk pembelajaran dasar cukup dijelaskan bahwa ion Ag^+ dan Cl^- bergerak dalam larutan, bertemu, dan membentuk AgCl(s), sementara ion Na^+ dan NO_3^- tetap sebagai ion penonton.

AI dapat membantu membuat animasi konseptual:

"Buat storyboard mekanisme konseptual reaksi pengendapan AgCl dari larutan $AgNO_3$ dan NaCl. Tampilkan ion-ion terhidrasi dalam larutan, pergerakan acak ion, pertemuan Ag^+ dan Cl^-, terbentuknya partikel AgCl padat, pertumbuhan endapan, dan ion penonton yang tetap di larutan."

Visual ini membantu siswa memahami persamaan ion bersih. Namun, guru perlu menjelaskan bahwa visual merupakan penyederhanaan; proses nukleasi dan pertumbuhan kristal sebenarnya dapat lebih kompleks.

Reaksi pengendapan juga dapat digunakan untuk melatih siswa menulis mekanisme konseptual sederhana: ion apa yang benar-benar bereaksi, ion apa yang menjadi penonton, dan bukti makroskopik apa yang terlihat.

5.7.13 AI untuk Menjelaskan Mekanisme pada Level Energi

Mekanisme reaksi tidak hanya menggambarkan urutan struktur, tetapi juga perubahan energi. Setiap tahap memiliki energi aktivasi. Zat antara memiliki energi relatif tertentu. Keadaan transisi memiliki energi lebih tinggi. Produk dapat memiliki energi lebih rendah atau lebih tinggi daripada pereaksi. Visualisasi diagram energi membantu siswa memahami mengapa suatu reaksi cepat atau lambat, mengapa katalis bekerja, dan mengapa zat antara tidak selalu dapat diamati.

AI dapat membantu membuat diagram energi naratif. Prompt:

"Buat penjelasan mekanisme reaksi dua tahap menggunakan diagram energi. Jelaskan pereaksi, keadaan transisi 1, zat antara, keadaan transisi 2, produk, energi aktivasi, tahap penentu laju, dan perbedaan reaksi eksoterm-endoterm. Gunakan bahasa mahasiswa awal."

Guru dapat menggunakan diagram ini untuk menghubungkan mekanisme dengan laju reaksi. Jika tahap pertama memiliki energi aktivasi lebih besar, tahap pertama mungkin menjadi tahap penentu laju. Namun, guru perlu menjelaskan secara hati-hati karena laju juga dipengaruhi faktor lain seperti konsentrasi, suhu, dan mekanisme aktual.

AI dapat membantu membuat pertanyaan analisis:

1. Tahap mana yang memiliki energi aktivasi terbesar?
2. Di mana zat antara berada pada diagram?
3. Apakah reaksi total eksoterm atau endoterm?
4. Bagaimana katalis mengubah diagram?
5. Mengapa keadaan transisi tidak ditulis sebagai produk stabil?

5.7.14 AI untuk Membuat Aktivitas Koreksi Miskonsepsi Mekanisme

Mekanisme reaksi rentan miskonsepsi. Beberapa miskonsepsi umum:

1. Persamaan reaksi total sama dengan mekanisme.
2. Semua reaksi berlangsung dalam satu tahap.
3. Panah elektron menunjukkan gerak atom.
4. Nukleofil selalu bermuatan negatif.
5. Elektrofil selalu bermuatan positif.
6. Katalis habis dalam reaksi.
7. Katalis mengubah ΔH reaksi.
8. Zat antara sama dengan keadaan transisi.
9. Ikatan putus melepaskan energi.
10. Mekanisme dapat ditulis bebas tanpa memperhatikan muatan dan elektron.

AI dapat membantu membuat aktivitas koreksi:

“Buat aktivitas koreksi miskonsepsi tentang mekanisme reaksi kimia. Berikan 10 pernyataan salah, minta siswa menjelaskan kesalahan dan menulis konsep yang benar. Sertakan kunci dan pembahasan.”

Contoh pernyataan salah:

“Panah lengkung dalam mekanisme organik menunjukkan gerakan atom dari satu tempat ke tempat lain.”

Perbaikan:
Panah lengkung menunjukkan perpindahan pasangan elektron. Perubahan posisi atom terjadi sebagai akibat pembentukan atau pemutusan ikatan, tetapi panahnya melacak elektron, bukan atom.

Aktivitas ini sangat penting untuk mahasiswa awal yang mulai belajar mekanisme organik.

5.7.15 AI untuk Membuat Soal Asesmen Mekanisme Reaksi

Asesmen mekanisme reaksi harus menilai pemahaman proses, bukan hafalan urutan. AI dapat membantu membuat soal yang meminta siswa mengidentifikasi nukleofil, elektrofil, zat antara, keadaan transisi, arah panah elektron, tahap penentu laju, atau kesalahan mekanisme.

Prompt:

“Buat asesmen formatif tentang mekanisme reaksi untuk mahasiswa awal kimia. Soal harus mencakup perbedaan reaksi total dan mekanisme, zat antara, keadaan transisi, katalis, panah elektron, nukleofil-elektrofil, dan diagram energi. Sertakan kunci dan rubrik.”

Contoh soal:

“Diberikan mekanisme dua tahap:
A + B → I
I + C → D
Tentukan zat antara dan persamaan reaksi total.”

Jawaban:
Zat antara adalah I karena terbentuk pada tahap pertama dan dikonsumsi pada tahap kedua.
Persamaan total adalah A + B + C → D.

Contoh soal visual:

“Pada diagram energi, terdapat dua puncak dan satu lembah di antara puncak. Apa makna lembah tersebut?”

Jawaban:
Lembah di antara dua puncak menunjukkan zat antara yang relatif lebih stabil daripada keadaan transisi tetapi belum merupakan produk akhir.

Soal semacam ini membantu siswa memahami mekanisme secara konseptual.

5.7.16 AI untuk Menyusun Visual Mekanisme yang Aman secara Konsep

Jika guru menggunakan AI untuk membuat visual mekanisme, prompt harus spesifik. Visual mekanisme harus memuat struktur yang benar, muatan benar, pasangan elektron bebas jika relevan, arah panah elektron benar, dan label tahapan. Untuk mekanisme organik, kesalahan panah sangat berbahaya. Guru sebaiknya menggunakan AI untuk membantu narasi dan storyboard, sementara struktur kimia presisi dibuat dengan perangkat khusus seperti ChemDraw, MarvinSketch, BKChem, atau perangkat lain yang sesuai.

Prompt aman:

“Buat storyboard tekstual, bukan gambar final, untuk mekanisme reaksi asam-basa antara NH_3 dan H_2O. Jelaskan posisi pasangan elektron, arah panah elektron, pemutusan ikatan O–H, pembentukan ikatan N–H, produk NH_4^+ dan OH^-, serta perubahan muatan. Jangan membuat struktur kimia yang tidak tervalidasi.”

Untuk visual final, guru dapat menggambar ulang sendiri dengan perangkat kimia. AI dapat membantu membuat daftar elemen visual:

1. Pereaksi.
2. Sumber elektron.
3. Penerima elektron.
4. Arah panah.
5. Produk.
6. Muatan.
7. Label tahap.

8. Catatan konsep.

Dengan pendekatan ini, AI digunakan sebagai asisten perancangan, bukan sumber final tanpa validasi.

5.7.17 Validasi Mekanisme Reaksi Berbantuan AI

Validasi mekanisme reaksi sangat penting. Daftar cek validasi meliputi:

1. Apakah persamaan reaksi total benar?
2. Apakah tahapan mekanisme menjumlah menjadi reaksi total?
3. Apakah zat antara dibedakan dari katalis?
4. Apakah zat antara dibedakan dari keadaan transisi?
5. Apakah muatan setiap spesies benar?
6. Apakah jumlah atom konsisten?
7. Apakah panah elektron berawal dari sumber elektron?
8. Apakah panah elektron menuju penerima elektron yang tepat?
9. Apakah nukleofil dan elektrofil diidentifikasi benar?
10. Apakah katalis tidak habis dalam reaksi total?
11. Apakah diagram energi konsisten dengan jumlah tahap?
12. Apakah mekanisme sesuai tingkat pembelajaran?
13. Apakah visual tidak menimbulkan miskonsepsi?
14. Apakah analogi diberi batas?

Prompt validasi:

“Tinjau penjelasan mekanisme reaksi berikut. Periksa kebenaran tahapan, zat antara, katalis, keadaan transisi, muatan, arah panah elektron, nukleofil-elektrofil, diagram energi, dan potensi miskonsepsi. Berikan revisi konkret.”

Guru perlu menggunakan sumber kimia organik, kimia fisik, atau literatur yang valid untuk mekanisme yang lebih kompleks. AI tidak boleh menjadi satu-satunya dasar mekanisme.

5.7.18 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu memahami mekanisme reaksi pada tingkat yang sesuai dengan jenjang pembelajaran. Untuk siswa sekolah menengah, mekanisme dapat dikenalkan sebagai cara memahami “bagaimana reaksi terjadi” melalui contoh sederhana. Untuk mahasiswa calon guru, mekanisme perlu dipahami lebih formal agar mereka dapat mengajar konsep reaksi secara lebih mendalam dan tidak hanya menekankan hafalan persamaan reaksi.

AI dapat membantu calon guru membuat visual dan narasi mekanisme, tetapi calon guru harus dilatih memvalidasi setiap tahap. Mereka perlu memahami arah panah elektron, muatan, zat antara, keadaan transisi, dan diagram energi. Tugas yang baik adalah meminta calon guru membuat mekanisme sederhana dengan bantuan AI, lalu membandingkannya dengan buku teks dan memperbaiki kesalahan.

Contoh tugas:

“Gunakan AI untuk membuat storyboard mekanisme reaksi asam-basa sederhana. Setelah itu, validasi arah panah elektron, muatan, produk, dan konsep donor-akseptor proton. Revisi storyboard dan jelaskan alasan revisi.”

Tugas seperti ini melatih literasi AI sekaligus pemahaman mekanisme.

Dengan demikian, AI dapat membantu memahami mekanisme reaksi kimia melalui visualisasi tahapan, diagram energi, penjelasan zat antara, keadaan transisi, katalis, panah elektron, nukleofil-elektrofil, reaksi asam-basa, redoks, pengendapan, dan mekanisme organik sederhana. Namun, mekanisme reaksi merupakan area yang sangat membutuhkan validasi karena kesalahan arah elektron, muatan, atau urutan tahapan dapat menghasilkan miskonsepsi serius. AI sebaiknya digunakan sebagai alat bantu perancangan dan penjelasan, sementara guru tetap menjadi validator ilmiah yang memastikan mekanisme benar, sesuai jenjang, dan pedagogis.

5.8 AI untuk Visualisasi Kimia Organik dan Model Molekul

Kimia organik merupakan salah satu cabang kimia yang paling kaya akan representasi visual. Molekul organik memiliki variasi struktur yang sangat besar, mulai dari molekul sederhana seperti metana hingga biomolekul kompleks seperti protein, DNA, dan polisakarida. Pemahaman terhadap struktur molekul organik menjadi fondasi untuk memahami sifat fisik, reaktivitas, mekanisme reaksi, aktivitas biologis, desain obat, material polimer, hingga berbagai aplikasi industri modern. Oleh karena itu, visualisasi memegang peranan yang sangat penting dalam pembelajaran kimia organik.

Berbeda dengan banyak konsep kimia anorganik yang dapat dipahami melalui persamaan atau tabel, kimia organik menuntut kemampuan berpikir spasial yang tinggi. Peserta didik harus mampu membayangkan struktur tiga dimensi molekul, orientasi ikatan, rotasi ikatan tunggal, isomerisme, stereokimia, konformasi, serta hubungan antara struktur dan fungsi. Kesulitan utama muncul karena sebagian besar representasi yang digunakan dalam buku teks bersifat dua dimensi, sedangkan molekul sesungguhnya berada dalam ruang tiga dimensi.

Perkembangan Artificial Intelligence (AI) membuka peluang baru dalam visualisasi kimia organik. AI dapat membantu menghasilkan model molekul tiga dimensi, ilustrasi struktur, animasi rotasi ikatan, visualisasi stereokimia, model konformasi, simulasi interaksi molekul, serta media pembelajaran interaktif yang membantu siswa menghubungkan representasi dua dimensi dengan bentuk ruang tiga dimensi. Namun demikian, visualisasi berbasis AI tetap harus divalidasi karena kesalahan struktur, panjang ikatan, geometri atom, stereokimia, atau orientasi substituen dapat menghasilkan miskonsepsi serius.

5.8.1 Urgensi Visualisasi dalam Kimia Organik

Kimia organik sering dianggap sulit karena siswa harus memahami berbagai representasi molekul sekaligus. Sebuah molekul sederhana seperti etanol dapat ditampilkan dalam berbagai bentuk:

1. Rumus molekul (C_2H_6O).
2. Rumus struktur lengkap.
3. Rumus struktur singkat.
4. Struktur garis (skeletal formula).
5. Model bola-dan-tongkat.
6. Model ruang-isi (space-filling model).
7. Model tiga dimensi hasil optimasi geometri.

Semua representasi tersebut menggambarkan molekul yang sama, tetapi menonjolkan aspek yang berbeda. Siswa yang belum terbiasa sering menganggap representasi tersebut sebagai molekul yang berbeda.

Penelitian pendidikan kimia menunjukkan bahwa keberhasilan belajar kimia organik sangat dipengaruhi oleh kemampuan representasional dan kemampuan visual-spasial. Peserta didik yang mampu menghubungkan representasi makroskopik, simbolik, dan submikroskopik cenderung memiliki pemahaman konseptual yang lebih baik dibandingkan peserta didik yang hanya menghafal struktur.

AI dapat membantu guru menjembatani berbagai representasi tersebut melalui visualisasi yang lebih intuitif. Misalnya, AI dapat digunakan untuk menampilkan transformasi bertahap dari rumus molekul menjadi struktur Lewis, lalu menjadi model tiga dimensi, dan akhirnya menjadi model ruang-isi.

Contoh prompt:

"Buat penjelasan visual bertahap yang menunjukkan hubungan antara rumus molekul, rumus struktur, struktur garis, model bola-dan-tongkat, dan model ruang-isi untuk molekul etanol. Jelaskan kelebihan dan keterbatasan setiap representasi."

Pendekatan seperti ini membantu siswa memahami bahwa setiap model memiliki tujuan tertentu dan tidak ada satu model yang dapat menunjukkan seluruh aspek molekul secara sempurna.

5.8.2 AI untuk Memvisualisasikan Struktur Molekul Organik

Struktur molekul merupakan bahasa utama dalam kimia organik. Sebelum memahami reaksi atau sifat senyawa, siswa harus mampu membaca dan menafsirkan struktur molekul dengan benar. AI dapat membantu membuat ilustrasi struktur yang lebih menarik, jelas, dan sesuai dengan tingkat pendidikan.

Misalnya, guru dapat menggunakan AI untuk membuat visualisasi berbagai golongan senyawa organik:

- Alkana
- Alkena
- Alkuna
- Alkohol

- Aldehida
- Keton
- Asam karboksilat
- Ester
- Amina
- Amida

Contoh prompt:

"Buat tabel visual golongan senyawa organik utama untuk siswa SMA. Tampilkan gugus fungsi, contoh senyawa, rumus struktur, kegunaan dalam kehidupan sehari-hari, dan ciri khas reaktivitasnya."

Visualisasi ini membantu siswa mengenali pola struktur daripada menghafal satu per satu senyawa.

Namun, guru harus memvalidasi struktur yang dihasilkan AI karena kadang-kadang AI generatif dapat menggambar jumlah atom atau valensi yang tidak sesuai.

5.8.3 AI untuk Menjelaskan Struktur Garis (Skeletal Formula)

Salah satu hambatan utama dalam pembelajaran kimia organik adalah transisi dari struktur Lewis ke struktur garis. Struktur garis digunakan secara luas dalam kimia organik karena lebih ringkas dan efisien untuk molekul kompleks.

Siswa sering mengalami miskonsepsi berikut:

1. Menganggap setiap sudut tidak mewakili atom.
2. Tidak memahami bahwa atom karbon dan hidrogen tertentu tidak dituliskan.
3. Menganggap struktur garis berbeda dari struktur molekul sebenarnya.
4. Salah menghitung jumlah atom karbon.

AI dapat membantu membuat panduan visual.

Contoh prompt:

"Buat penjelasan langkah demi langkah bagaimana mengubah struktur Lewis menjadi struktur garis untuk etana, propana, butana, sikloheksana, etanol, dan asam asetat. Sertakan latihan menghitung jumlah atom karbon dan hidrogen."

Visualisasi ini membantu siswa memahami aturan struktur garis secara sistematis.

5.8.4 AI untuk Memahami Geometri Karbon sp, sp^2, dan sp^3

Geometri atom karbon merupakan konsep fundamental dalam kimia organik. Karbon dapat memiliki tiga geometri utama:

- Linear (sp)
- Trigonal planar (sp^2)
- Tetrahedral (sp^3)

Pemahaman geometri ini sangat penting karena menentukan bentuk molekul, sudut ikatan, stereokimia, dan reaktivitas.

AI dapat membantu membuat perbandingan visual:

- Metana (CH_4) → tetrahedral
- Etena (C_2H_4) → trigonal planar
- Etuna (C_2H_2) → linear

Prompt:

"Buat visualisasi perbandingan geometri karbon sp, sp^2, dan sp^3. Tampilkan sudut ikatan, jenis ikatan sigma dan pi, bentuk ruang, dan contoh molekul sederhana."

Guru perlu menekankan bahwa geometri bukan sekadar bentuk gambar, tetapi berkaitan dengan distribusi elektron dan orientasi orbital.

5.8.5 AI untuk Memvisualisasikan Isomer Struktur

Isomer merupakan konsep yang sangat penting dan sering menimbulkan kebingungan. Dua senyawa dapat memiliki rumus molekul yang sama tetapi struktur berbeda sehingga sifatnya berbeda pula.

Sebagai contoh:

C_4H_{10} dapat berupa:

- n-Butana
- Isobutana (2-metilpropana)

AI dapat membantu membuat visualisasi perbandingan isomer.

Prompt:

"Buat visualisasi berbagai isomer struktur C_4H_{10} dan C_5H_{12}. Jelaskan perbedaan susunan atom, bentuk molekul, titik didih relatif, dan alasan perbedaannya."

Visualisasi semacam ini membantu siswa memahami bahwa rumus molekul tidak cukup untuk menentukan identitas senyawa.

5.8.6 AI untuk Memvisualisasikan Stereoisomer

Stereoisomer merupakan salah satu topik paling abstrak dalam kimia organik karena melibatkan susunan ruang tiga dimensi.

Topik yang termasuk di dalamnya antara lain:

- Isomer cis-trans
- Isomer geometrik E/Z
- Enansiomer
- Diastereomer
- Karbon kiral

AI dapat membantu membuat model tiga dimensi yang memperlihatkan perbedaan orientasi substituen.

Prompt:

"Buat penjelasan visual perbedaan cis-2-butena dan trans-2-butena menggunakan model bola-dan-tongkat serta model ruang-isi. Jelaskan dampaknya terhadap sifat fisik."

Visualisasi semacam ini jauh lebih efektif dibandingkan gambar datar biasa.

5.8.7 AI untuk Menjelaskan Karbon Kiral dan Aktivitas Optik

Karbon kiral merupakan konsep penting dalam stereokimia dan farmasi. Banyak obat memiliki aktivitas biologis berbeda hanya karena perbedaan konfigurasi ruang.

Contohnya:

- Thalidomide
- Ibuprofen
- Limonene

AI dapat membantu membuat model tangan kanan dan tangan kiri sebagai analogi kiralitas.

Prompt:

"Buat penjelasan visual karbon kiral menggunakan analogi tangan kanan dan tangan kiri. Tampilkan molekul dengan satu pusat kiral dan tunjukkan mengapa bayangan cerminnya tidak dapat ditumpangtindihkan."

Guru perlu mengingatkan bahwa analogi tangan hanya membantu memahami konsep dan bukan representasi molekul secara literal.

5.8.8 AI untuk Memvisualisasikan Konformasi Molekul

Konformasi merupakan susunan ruang yang berbeda akibat rotasi ikatan tunggal.

Contoh penting:

- Etana: eclipsed dan staggered
- Sikloheksana: chair dan boat

AI dapat membantu membuat animasi rotasi molekul.

Prompt:

"Buat storyboard animasi rotasi etana yang menunjukkan perubahan dari konformasi eclipsed ke staggered. Sertakan perubahan energi relatif dan alasan kestabilannya."

Konsep ini sering sulit dipahami dari gambar statis sehingga visualisasi dinamis sangat membantu.

5.8.9 AI untuk Visualisasi Reaksi Organik

Banyak reaksi organik melibatkan perubahan struktur molekul yang kompleks. AI dapat membantu memvisualisasikan:

- Substitusi
- Adisi
- Eliminasi
- Esterifikasi
- Hidrolisis
- Polimerisasi

Visualisasi dapat menunjukkan molekul sebelum reaksi, perubahan gugus fungsi, dan produk akhir.

Prompt:

"Buat visualisasi reaksi esterifikasi antara etanol dan asam asetat menjadi etil asetat. Tampilkan perubahan gugus fungsi dan atom yang terlibat dalam pembentukan air."

Visualisasi seperti ini membantu siswa melihat hubungan antara struktur dan reaktivitas.

5.8.10 AI untuk Menjelaskan Hubungan Struktur dan Sifat

Salah satu tujuan utama kimia organik adalah memahami hubungan struktur dan sifat.

Contoh:

- Alkohol rantai pendek mudah larut dalam air.
- Hidrokarbon nonpolar tidak larut dalam air.
- Semakin panjang rantai karbon, titik didih meningkat.
- Percabangan memengaruhi titik didih.

AI dapat membantu membuat infografik hubungan struktur-sifat.

Prompt:

"Buat peta konsep yang menghubungkan panjang rantai karbon, percabangan, polaritas, gaya antarmolekul, titik didih, dan kelarutan."

Pendekatan ini membantu siswa melihat pola daripada menghafal data.

5.8.11 AI untuk Model Molekul dalam Pembelajaran Kimia Organik

Model molekul sangat penting dalam pembelajaran.

Jenis model yang umum digunakan:

1. Model bola-dan-tongkat.
2. Model ruang-isi.
3. Model kerangka.
4. Model permukaan elektron.
5. Model optimasi komputasi.

AI dapat membantu menjelaskan kelebihan dan keterbatasan masing-masing model.

Prompt:

"Buat tabel perbandingan berbagai model molekul yang digunakan dalam kimia organik. Jelaskan informasi yang ditampilkan, kelebihan, keterbatasan, dan konteks penggunaannya."

Siswa perlu memahami bahwa model merupakan representasi, bukan bentuk molekul yang sesungguhnya.

5.8.12 AI untuk Menghubungkan Kimia Organik dengan Kimia Komputasi

Kimia komputasi memungkinkan visualisasi molekul secara lebih realistis melalui optimasi geometri, perhitungan energi, orbital molekul, distribusi muatan, dan simulasi dinamika molekul.

AI dapat membantu menjelaskan konsep-konsep tersebut secara edukatif.

Contoh prompt:

"Jelaskan secara sederhana bagaimana kimia komputasi digunakan untuk menentukan bentuk molekul organik. Bahas optimasi geometri, energi minimum, dan visualisasi struktur tiga dimensi tanpa menggunakan matematika tingkat lanjut."

Bagian ini sangat relevan untuk memperkenalkan siswa pada perkembangan modern ilmu kimia.

5.8.13 AI untuk Membuat LKPD Visual Kimia Organik

AI dapat digunakan untuk menyusun LKPD yang berfokus pada kemampuan visualisasi.

Contoh aktivitas:

- Mengubah struktur Lewis menjadi struktur garis.
- Mengidentifikasi gugus fungsi.
- Menentukan isomer.
- Menentukan karbon kiral.
- Menggambar konformasi.

Prompt:

"Buat LKPD visual tentang struktur dan model molekul organik untuk siswa SMA. Sertakan gambar, tabel observasi, pertanyaan analisis, dan rubrik penilaian."

Aktivitas seperti ini mendorong pembelajaran aktif dan mengurangi dominasi hafalan.

5.8.14 AI untuk Mengatasi Miskonsepsi dalam Kimia Organik

Miskonsepsi yang sering muncul antara lain:

1. Struktur garis dianggap tidak memiliki atom karbon.
2. Isomer dianggap senyawa yang sama.
3. Semua ikatan tunggal dianggap tidak memengaruhi bentuk.
4. Molekul dianggap datar.
5. Model bola-dan-tongkat dianggap ukuran atom sebenarnya.
6. Karbon kiral dianggap selalu bermuatan.
7. Semua stereoisomer memiliki sifat yang sama.
8. Struktur Lewis dianggap bentuk ruang molekul.

AI dapat membantu membuat aktivitas koreksi miskonsepsi.

Prompt:

"Buat 15 pernyataan miskonsepsi umum dalam kimia organik beserta penjelasan ilmiah yang benar dan contoh visual yang mendukung."

Pendekatan ini membantu siswa membangun pemahaman konseptual yang lebih kuat.

5.8.15 Validasi Visualisasi Kimia Organik Berbantuan AI

Visualisasi kimia organik harus melalui validasi ketat.

Aspek yang perlu diperiksa:

1. Valensi atom benar.
2. Jumlah atom sesuai.
3. Muatan benar.
4. Stereokimia benar.
5. Geometri molekul sesuai.
6. Panjang ikatan masuk akal.
7. Konfigurasi kiral benar.
8. Gugus fungsi tepat.
9. Nama senyawa sesuai struktur.
10. Model tidak menimbulkan miskonsepsi.

Prompt validasi:

"Periksa visualisasi molekul berikut. Tinjau valensi, stereokimia, geometri, gugus fungsi, dan potensi miskonsepsi. Berikan revisi yang diperlukan."

Guru harus tetap menggunakan perangkat lunak kimia khusus dan sumber ilmiah terpercaya sebagai acuan utama.

5.8.16 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu mengembangkan literasi visual dalam kimia organik. AI dapat membantu menyediakan visualisasi yang sebelumnya sulit dibuat secara manual, tetapi guru harus tetap menjadi validator ilmiah.

Calon guru kimia perlu dilatih:

- Membaca model molekul.
- Menafsirkan stereokimia.
- Menggunakan AI untuk membuat media visual.
- Memvalidasi struktur molekul.
- Menghubungkan visualisasi dengan konsep kimia.

Tugas yang baik misalnya:

"Gunakan AI untuk membuat media visual tentang isomer, stereokimia, dan model molekul. Validasi seluruh struktur, identifikasi potensi miskonsepsi, dan revisi hasil sebelum digunakan sebagai bahan ajar."

Dengan demikian, AI dapat menjadi alat yang sangat kuat dalam visualisasi kimia organik dan model molekul karena mampu membantu siswa memahami struktur, bentuk ruang, stereokimia, konformasi, reaksi, serta hubungan struktur dan sifat. Namun, keberhasilan penggunaannya sangat bergantung pada kemampuan guru dalam memvalidasi akurasi ilmiah dan mengintegrasikan visualisasi tersebut ke dalam pembelajaran yang bermakna.

5.9 AI dalam Pemodelan Konsep Kimia Komputasi Edukatif

Kimia komputasi edukatif merupakan pendekatan pembelajaran kimia yang memanfaatkan model, simulasi, visualisasi, dan perhitungan berbasis komputer untuk membantu peserta didik memahami konsep kimia yang abstrak. Dalam konteks pembelajaran modern, kimia komputasi tidak hanya digunakan oleh peneliti untuk memprediksi struktur molekul, energi, orbital, spektrum, atau reaktivitas, tetapi juga dapat digunakan secara edukatif untuk menjembatani pemahaman siswa terhadap dunia molekuler yang tidak dapat diamati secara langsung. AI memperluas peluang ini karena dapat membantu guru menjelaskan hasil pemodelan, merancang aktivitas visual, membuat interpretasi sederhana, dan menghubungkan data komputasi dengan konsep kimia dasar.

Dalam pembelajaran kimia, banyak konsep yang sulit dipahami jika hanya dijelaskan melalui teks dan persamaan. Struktur tiga dimensi molekul, distribusi elektron, polaritas, energi relatif konformer, orbital molekul, permukaan potensial elektrostatik, interaksi antarmolekul, dan perubahan energi reaksi merupakan contoh konsep yang sangat terbantu oleh pemodelan visual. Dengan bantuan perangkat kimia komputasi dan AI, siswa dapat melihat bahwa molekul memiliki bentuk ruang tertentu, bahwa distribusi muatan tidak selalu merata, bahwa konformasi berbeda memiliki energi berbeda, dan bahwa reaksi kimia berkaitan dengan perubahan struktur serta energi.

AI dapat berperan sebagai pendamping interpretasi dalam kimia komputasi edukatif. Misalnya, ketika guru menampilkan model molekul air hasil optimasi geometri, AI dapat membantu menyusun penjelasan tentang sudut ikatan, polaritas, pasangan elektron bebas, dan kaitannya dengan ikatan hidrogen. Ketika guru menampilkan permukaan potensial elektrostatik suatu molekul, AI dapat membantu menjelaskan daerah kaya elektron dan miskin elektron secara konseptual. Ketika guru menampilkan dua konformasi butana, AI dapat membantu menjelaskan mengapa satu konformasi lebih stabil daripada yang lain. Namun, guru harus memastikan bahwa interpretasi AI sesuai dengan konsep kimia dan tidak melebih-lebihkan hasil komputasi.

Kimia komputasi edukatif perlu dibedakan dari kimia komputasi riset tingkat lanjut. Dalam pembelajaran sekolah atau perkuliahan dasar, tujuan utamanya bukan melatih siswa melakukan perhitungan kuantum tingkat tinggi, melainkan membantu mereka memahami konsep melalui model yang lebih konkret. Oleh karena itu, guru perlu memilih perangkat, data, dan visualisasi yang sesuai jenjang. Siswa tidak perlu langsung memahami persamaan Schrödinger, metode Hartree-Fock, DFT, basis set, atau dinamika molekul secara matematis mendalam. Namun, mereka dapat dikenalkan bahwa model molekul modern diperoleh melalui pendekatan matematis dan komputasional yang memiliki asumsi, tingkat ketelitian, serta batas interpretasi.

5.9.1 Hakikat Kimia Komputasi Edukatif

Kimia komputasi edukatif adalah penggunaan konsep, perangkat, dan hasil pemodelan kimia komputasi untuk tujuan pembelajaran. Fokusnya bukan sekadar menghasilkan data komputasi, tetapi membantu siswa memahami konsep kimia secara visual, konseptual, dan representasional. Dalam pendekatan ini, perangkat komputasi digunakan sebagai media untuk memperlihatkan struktur molekul, bentuk orbital, distribusi muatan, energi relatif, dan interaksi molekul.

Pada tingkat dasar, kimia komputasi edukatif dapat digunakan untuk memperlihatkan bentuk molekul sederhana seperti H_2O, NH_3, CH_4, CO_2, BF_3, dan CCl_4. Siswa dapat memutar model molekul, melihat sudut ikatan, membandingkan bentuk molekul, dan menghubungkannya dengan teori VSEPR. Pada tingkat yang lebih tinggi, siswa dapat membandingkan konformasi etana atau butana, melihat permukaan potensial elektrostatik, memahami polaritas molekul, atau mempelajari hubungan struktur dan sifat.

AI dapat membantu menyusun penjelasan yang sesuai dengan tingkat siswa. Misalnya, guru dapat menggunakan prompt:

"Jelaskan hasil model 3D molekul H_2O untuk siswa SMA. Bahas bentuk bengkok, sudut ikatan sekitar 104,5°, polaritas molekul, pasangan elektron bebas, dan hubungan dengan ikatan hidrogen. Gunakan bahasa sederhana dan jelaskan bahwa model ini merupakan representasi, bukan foto molekul."

Prompt seperti ini membantu AI menjadi pendamping penjelasan. Namun, guru tetap perlu memverifikasi semua nilai dan interpretasi. Jika AI menyebut sudut ikatan, panjang ikatan, energi, atau muatan parsial, data tersebut harus diperiksa dengan sumber atau perangkat yang valid.

5.9.2 Peran AI dalam Menjelaskan Model Molekul

Model molekul merupakan representasi visual yang membantu siswa memahami bentuk dan struktur molekul. Model dapat berupa model bola-dan-tongkat, ruang-isi, permukaan elektron, orbital, atau permukaan potensial elektrostatik. AI dapat membantu menjelaskan apa yang terlihat dalam model dan apa yang tidak terlihat.

Misalnya, dalam model bola-dan-tongkat, atom ditampilkan sebagai bola dan ikatan sebagai batang. Model ini membantu melihat konektivitas atom dan bentuk geometri, tetapi tidak menunjukkan ukuran atom secara realistis. Dalam model ruang-isi, ukuran relatif atom lebih terlihat, tetapi konektivitas ikatan mungkin kurang jelas. Dalam model permukaan potensial elektrostatik, warna biasanya menunjukkan daerah relatif kaya atau miskin elektron, tetapi warna tersebut merupakan kode visual, bukan warna nyata molekul.

AI dapat membantu membuat tabel perbandingan:

"Buat tabel perbandingan model bola-dan-tongkat, model ruang-isi, model permukaan elektron, dan model potensial elektrostatik. Jelaskan informasi yang ditampilkan, kelebihan, keterbatasan, dan contoh penggunaannya dalam pembelajaran kimia."

Tabel seperti ini membantu siswa memahami bahwa model molekul adalah representasi dengan fungsi tertentu. Siswa tidak boleh menganggap satu model sebagai bentuk "asli" molekul secara mutlak. Setiap model menonjolkan aspek yang berbeda. Guru perlu mengajarkan literasi model agar siswa tidak salah menafsirkan visualisasi komputasi.

AI juga dapat membantu menyusun pertanyaan pendamping model. Contohnya:

1. Atom mana yang menjadi pusat molekul?
2. Bagaimana susunan atom di sekitar atom pusat?
3. Apakah molekul tampak simetris?
4. Apakah ada arah dipol yang tidak saling meniadakan?
5. Model ini menunjukkan informasi apa?
6. Informasi apa yang tidak ditampilkan model ini?

Pertanyaan seperti ini membuat visualisasi menjadi aktivitas berpikir, bukan sekadar tontonan.

5.9.3 AI untuk Menjelaskan Optimasi Geometri Molekul

Optimasi geometri adalah proses komputasi untuk mencari susunan atom yang memiliki energi relatif minimum berdasarkan metode dan parameter tertentu. Dalam pembelajaran, konsep ini dapat digunakan untuk menjelaskan bahwa molekul cenderung memiliki bentuk tertentu karena bentuk tersebut berkaitan dengan kestabilan energi. Molekul tidak berbentuk sembarang; susunan atom dipengaruhi oleh gaya tarik, gaya tolak, panjang ikatan, sudut ikatan, dan distribusi elektron.

Pada tingkat edukatif, guru dapat menjelaskan optimasi geometri secara sederhana sebagai proses "mencari bentuk molekul yang paling stabil menurut model komputasi." Namun, perlu dihindari penjelasan teleologis seolah-olah molekul "menginginkan" bentuk tertentu. Lebih tepat dikatakan bahwa susunan tertentu memiliki energi lebih rendah sehingga lebih stabil dibandingkan susunan lain dalam kondisi model yang digunakan.

AI dapat membantu membuat penjelasan sederhana:

"Jelaskan optimasi geometri molekul untuk siswa SMA/mahasiswa awal. Gunakan contoh molekul H_2O atau CH_4. Jelaskan bahwa perangkat komputasi dapat menghitung susunan atom dengan energi relatif minimum. Hindari persamaan matematika tingkat lanjut dan sertakan batas model."

Dalam pembelajaran, guru dapat menunjukkan dua model molekul: bentuk awal yang belum dioptimasi dan bentuk hasil optimasi. Siswa dapat membandingkan sudut ikatan atau panjang ikatan. Dengan demikian, siswa memahami bahwa bentuk molekul bukan hanya gambar dari buku teks, tetapi dapat diperkirakan dengan model matematis dan komputasi.

Namun, guru perlu menegaskan bahwa hasil optimasi bergantung pada metode komputasi, basis set, dan asumsi yang digunakan. Pada tingkat sekolah, cukup dijelaskan bahwa model komputasi memberikan pendekatan ilmiah, bukan kebenaran mutlak tanpa batas.

5.9.4 AI untuk Memahami Energi Relatif Konformer

Konformasi adalah susunan ruang berbeda yang muncul akibat rotasi ikatan tunggal. Dalam kimia organik, konformasi sangat penting untuk memahami kestabilan molekul. Etana memiliki konformasi staggered dan eclipsed. Butana memiliki konformasi anti dan gauche. Sikloheksana memiliki konformasi chair dan boat. Perbedaan konformasi berkaitan dengan perbedaan energi akibat tolakan elektron, tegangan torsi, tegangan sterik, dan interaksi antar gugus.

AI dapat membantu menjelaskan energi relatif konformer dengan bahasa sederhana. Contoh prompt:

"Jelaskan perbedaan konformasi staggered dan eclipsed pada etana untuk mahasiswa awal. Gunakan visualisasi rotasi ikatan C–C, jelaskan energi relatif, tegangan torsi, dan mengapa staggered lebih stabil. Sertakan batas model."

Guru dapat menampilkan diagram energi rotasi etana. AI dapat membantu menjelaskan bahwa konformasi staggered memiliki energi lebih rendah karena pasangan elektron ikatan C–H lebih berjauhan, sedangkan konformasi eclipsed memiliki energi lebih tinggi karena tolakan lebih besar.

Untuk butana, AI dapat membantu menjelaskan konformasi anti dan gauche:

"Buat penjelasan visual tentang konformasi anti dan gauche pada butana. Jelaskan mengapa anti lebih stabil daripada gauche karena gugus metil lebih berjauhan. Gunakan bahasa mahasiswa awal dan sertakan pertanyaan analisis."

Konsep energi relatif konformer sangat cocok untuk pembelajaran berbasis visual komputasi. Siswa dapat memutar molekul dan melihat perubahan energi relatif secara konseptual. AI dapat membantu membuat narasi, soal, dan rubrik interpretasi.

5.9.5 AI untuk Menjelaskan Permukaan Potensial Elektrostatik

Permukaan potensial elektrostatik atau *electrostatic potential surface* membantu memvisualisasikan distribusi muatan relatif pada permukaan molekul. Biasanya, warna tertentu menunjukkan daerah relatif kaya elektron atau bermuatan parsial negatif, sedangkan warna lain menunjukkan daerah relatif miskin elektron atau bermuatan parsial positif. Visualisasi ini sangat berguna untuk memahami polaritas, situs reaktif, interaksi antarmolekul, ikatan hidrogen, dan kelarutan.

Namun, siswa perlu diberi penjelasan bahwa warna pada permukaan potensial elektrostatik adalah kode visual, bukan warna asli molekul. Guru juga perlu menjelaskan bahwa interpretasi warna bergantung pada skala yang digunakan. AI dapat membantu menyusun panduan interpretasi:

"Buat panduan sederhana membaca permukaan potensial elektrostatik molekul untuk mahasiswa awal. Jelaskan arti daerah kaya elektron dan miskin elektron, hubungan dengan polaritas dan interaksi antarmolekul, serta batas interpretasi warna."

Contoh pembelajaran:

- Pada H_2O, daerah di sekitar O relatif kaya elektron, sedangkan daerah dekat H relatif miskin elektron.
- Pada NH_3, daerah pasangan elektron bebas pada N relatif kaya elektron.
- Pada CO_2, distribusi muatan berada pada molekul linear yang secara keseluruhan nonpolar, meskipun ikatan C=O polar.
- Pada HCl, daerah sekitar Cl lebih kaya elektron daripada H.

AI dapat membantu membuat pertanyaan analisis:

1. Bagian mana dari molekul yang relatif kaya elektron?
2. Bagian mana yang relatif miskin elektron?
3. Bagian mana yang mungkin berinteraksi dengan kation?
4. Bagian mana yang mungkin berinteraksi dengan anion atau proton?
5. Apakah distribusi muatan mendukung polaritas molekul?

Dengan demikian, visualisasi permukaan potensial elektrostatik dapat menjadi jembatan antara struktur molekul dan reaktivitas.

5.9.6 AI untuk Menjelaskan Orbital Molekul secara Edukatif

Orbital molekul merupakan konsep lanjutan yang menjelaskan distribusi elektron dalam molekul sebagai kombinasi orbital atom. Konsep ini penting untuk memahami ikatan, antiikatan, orde ikatan, magnetisme, spektrum, dan reaktivitas. Namun, pada tingkat dasar, orbital molekul dapat dikenalkan secara visual dan konseptual tanpa matematika mendalam.

AI dapat membantu menjelaskan orbital molekul secara sederhana. Contoh prompt:

"Jelaskan konsep orbital molekul ikatan dan antiikatan untuk mahasiswa awal. Gunakan contoh H_2. Jelaskan bahwa kombinasi dua orbital 1s menghasilkan orbital ikatan berenergi lebih rendah dan orbital antiikatan berenergi lebih tinggi. Hindari matematika tinggi dan sertakan visual konseptual."

Pada H_2, dua elektron menempati orbital ikatan, menghasilkan molekul stabil. Jika elektron menempati orbital antiikatan, kestabilan menurun. Konsep ini dapat membantu menjelaskan mengapa He_2 tidak stabil dalam model orbital molekul sederhana, karena elektron pada orbital ikatan dan antiikatan saling meniadakan kontribusi orde ikatan.

AI juga dapat membantu menjelaskan HOMO dan LUMO secara edukatif:

"Jelaskan HOMO dan LUMO untuk mahasiswa awal kimia organik. Gunakan bahasa sederhana: HOMO sebagai orbital terisi tertinggi yang dapat mendonorkan elektron dan LUMO sebagai orbital kosong terendah yang dapat menerima elektron. Hubungkan dengan konsep nukleofil dan elektrofil secara hati-hati."

Guru harus memastikan bahwa penjelasan tidak terlalu menyederhanakan sehingga salah. HOMO-LUMO adalah konsep orbital frontier yang berguna, tetapi interpretasinya perlu disesuaikan dengan tingkat pembelajaran.

5.9.7 AI untuk Pemodelan Interaksi Antarmolekul

Interaksi antarmolekul dapat divisualisasikan melalui model komputasi. Siswa dapat melihat bagaimana molekul air berinteraksi melalui ikatan hidrogen, bagaimana ion Na^+ dikelilingi molekul air, bagaimana molekul polar saling berorientasi, atau bagaimana molekul obat

berinteraksi dengan situs tertentu secara konseptual. AI dapat membantu menjelaskan visualisasi tersebut.

Prompt:

"Jelaskan visualisasi interaksi ion Na^+ dengan molekul air untuk siswa SMA/mahasiswa awal. Tampilkan orientasi atom O air menghadap Na^+, jelaskan gaya ion-dipol, hidrasi, dan hubungan dengan pelarutan NaCl. Sertakan miskonsepsi yang perlu dihindari."

Untuk ikatan hidrogen:

"Jelaskan model komputasi beberapa molekul air yang saling berikatan hidrogen. Jelaskan garis putus-putus sebagai interaksi antarmolekul, bukan ikatan kovalen. Hubungkan dengan titik didih air dan tegangan permukaan."

Pemodelan interaksi antarmolekul membantu siswa melihat bahwa sifat makroskopik seperti kelarutan dan titik didih berasal dari interaksi partikel. Namun, guru harus menjelaskan bahwa model kecil beberapa molekul adalah penyederhanaan dari sistem nyata yang terdiri atas sangat banyak partikel.

5.9.8 AI dalam Simulasi Dinamika Molekul Edukatif

Dinamika molekul adalah simulasi gerak atom dan molekul berdasarkan gaya antarpartikel dalam rentang waktu tertentu. Dalam konteks edukatif, dinamika molekul dapat membantu siswa memahami bahwa molekul tidak diam. Molekul bergetar, berotasi, berpindah, bertumbukan, dan berinteraksi secara dinamis. Visualisasi dinamika sangat berguna untuk menjelaskan difusi, perubahan wujud, pelarutan, gerak termal, dan interaksi biomolekul.

Namun, dinamika molekul merupakan metode kompleks. Untuk pembelajaran dasar, guru cukup menggunakan simulasi atau animasi konseptual yang menunjukkan gerak partikel secara kualitatif. AI dapat membantu menjelaskan narasi simulasi:

"Buat penjelasan edukatif tentang simulasi dinamika molekul air cair. Jelaskan bahwa molekul air bergerak terus, membentuk dan memutus ikatan hidrogen secara dinamis, dan susunannya berubah dari waktu ke waktu. Gunakan bahasa siswa SMA/mahasiswa awal."

Guru dapat menekankan bahwa animasi dinamika molekul bukan rekaman video nyata, melainkan hasil perhitungan model. Ini penting agar siswa memahami sifat representasional simulasi.

AI juga dapat membantu membuat aktivitas:

"Siswa menonton simulasi gerak molekul air pada suhu rendah dan tinggi. Buat pertanyaan analisis tentang gerak molekul, jarak antarmolekul, energi kinetik, dan perubahan wujud."

Aktivitas semacam ini menghubungkan kimia komputasi dengan teori kinetik partikel.

5.9.9 AI untuk Menjelaskan Spektrum Molekul secara Konseptual

Spektroskopi merupakan salah satu area yang sangat terbantu oleh pemodelan komputasi. Pada tingkat edukatif, siswa dapat diperkenalkan bahwa molekul dapat menyerap energi pada panjang gelombang tertentu, dan pola serapan berkaitan dengan struktur molekul. Spektrum inframerah berkaitan dengan getaran ikatan, spektrum UV-Vis berkaitan dengan transisi elektronik, dan NMR berkaitan dengan lingkungan inti tertentu.

AI dapat membantu menjelaskan spektrum secara konseptual tanpa matematika berat. Contoh prompt:

"Jelaskan secara sederhana bagaimana spektrum inframerah berkaitan dengan getaran ikatan dalam molekul. Gunakan contoh gugus O–H, C=O, dan C–H. Jelaskan bahwa pemodelan komputasi dapat membantu memprediksi frekuensi getaran, tetapi hasil perlu divalidasi."

Untuk siswa SMA, spektroskopi mungkin bersifat pengayaan. Untuk mahasiswa, AI dapat membantu membuat interpretasi spektrum sederhana. Namun, guru harus menghindari klaim terlalu pasti. Spektrum nyata dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk lingkungan molekul, fase, pelarut, dan instrumen.

Pemodelan komputasi dapat membantu siswa memahami bahwa struktur molekul berkaitan dengan data eksperimen. AI dapat membantu menjembatani bahasa teknis menjadi penjelasan yang lebih mudah dipahami.

5.9.10 AI untuk Mengembangkan Aktivitas Pemodelan Molekul Sederhana

Guru dapat menggunakan AI untuk menyusun aktivitas pembelajaran berbasis pemodelan molekul. Aktivitas ini dapat dilakukan dengan perangkat sederhana seperti MolView, Avogadro, Jmol/JSmol, atau aplikasi visualisasi molekul lainnya. Fokus aktivitas bukan pada perhitungan rumit, tetapi pada pengamatan, interpretasi, dan hubungan konsep.

Prompt:

"Buat aktivitas pembelajaran kimia komputasi edukatif menggunakan perangkat visualisasi molekul sederhana. Topik: membandingkan bentuk dan polaritas H_2O, CO_2, NH_3, CH_4, dan BF_3. Aktivitas harus memuat tujuan, langkah kerja, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, kesimpulan, dan rubrik."

Contoh tabel pengamatan:

Molekul	Bentuk Molekul	Simetri	Polar/Nonpolar	Alasan

Pertanyaan analisis:

1. Molekul mana yang memiliki ikatan polar tetapi molekulnya nonpolar?
2. Apa peran bentuk molekul dalam menentukan polaritas?

3. Bagaimana model 3D membantu memahami struktur yang tidak terlihat pada gambar 2D?
4. Apa keterbatasan model yang digunakan?

AI dapat membantu membuat LKPD yang siap digunakan. Guru kemudian menyesuaikan dengan software yang tersedia.

5.9.11 AI untuk Pembelajaran Kimia Komputasi Berbasis Proyek

Kimia komputasi edukatif dapat dikembangkan menjadi proyek sederhana. Misalnya, siswa diminta membandingkan beberapa molekul berdasarkan bentuk, polaritas, energi relatif, atau kelarutan. Mahasiswa dapat diminta mengoptimasi struktur molekul sederhana, membandingkan konformer, atau menafsirkan permukaan potensial elektrostatik.

Contoh proyek SMA:

“Bandingkan bentuk dan polaritas lima molekul sederhana menggunakan model 3D. Buat laporan yang menjelaskan struktur Lewis, bentuk VSEPR, model 3D, polaritas, dan hubungan dengan gaya antarmolekul.”

Contoh proyek mahasiswa awal:

“Gunakan perangkat pemodelan molekul untuk membandingkan konformasi butana. Tampilkan model anti dan gauche, jelaskan perbedaan energi relatif secara kualitatif, dan hubungkan dengan tolakan sterik.”

AI dapat membantu menyusun proyek:

“Buat rancangan proyek kimia komputasi edukatif tentang hubungan struktur molekul dan polaritas. Produk akhir berupa laporan dan presentasi. Sertakan tujuan, alat digital, langkah kerja, format laporan, rubrik, dan etika penggunaan AI.”

Proyek seperti ini melatih siswa menggunakan teknologi secara ilmiah, bukan sekadar melihat gambar.

5.9.12 AI untuk Menghubungkan Kimia Komputasi dengan Kimia Organik

Kimia organik sangat terbantu oleh kimia komputasi karena banyak konsepnya berhubungan dengan struktur tiga dimensi, energi, dan reaktivitas. AI dapat membantu menjelaskan hubungan antara struktur organik, konformasi, stereokimia, dan energi. Misalnya, AI dapat membantu menjelaskan mengapa konformasi chair sikloheksana lebih stabil daripada boat, mengapa substituen besar lebih stabil pada posisi ekuatorial, atau mengapa enansiomer memiliki interaksi berbeda dalam lingkungan kiral.

Prompt:

“Buat penjelasan edukatif tentang penggunaan pemodelan molekul untuk memahami konformasi sikloheksana. Jelaskan chair, boat, posisi aksial dan ekuatorial, serta alasan kestabilan relatif secara kualitatif.”

Untuk stereokimia:

“Jelaskan bagaimana model molekul 3D membantu memahami enansiomer. Gunakan analogi tangan kanan dan kiri, tetapi sertakan batas analogi. Hubungkan dengan pentingnya stereokimia dalam interaksi biologis secara sederhana.”

Guru harus memastikan bahwa visual stereokimia benar. AI generatif gambar dapat salah menampilkan konfigurasi R/S atau orientasi wedge-dash. Untuk struktur stereokimia, lebih aman menggunakan perangkat kimia khusus dan memeriksa manual.

5.9.13 AI untuk Menjelaskan Keterbatasan Model Komputasi

Salah satu aspek penting dalam literasi kimia komputasi adalah memahami batas model. Hasil komputasi bukan “kebenaran mutlak”, tetapi hasil dari metode, asumsi, parameter, dan model matematis tertentu. Metode berbeda dapat memberi hasil berbeda. Perhitungan dalam fase gas dapat berbeda dari kondisi larutan. Model molekul kecil tidak selalu mewakili sistem nyata yang kompleks. Visualisasi warna dan permukaan adalah representasi data, bukan objek nyata.

AI dapat membantu membuat penjelasan batas model:

“Buat penjelasan untuk siswa/mahasiswa tentang keterbatasan model kimia komputasi. Bahas bahwa hasil bergantung pada metode, basis set, asumsi, kondisi lingkungan, dan interpretasi visual. Gunakan contoh sederhana dan bahasa edukatif.”

Poin penting:

1. Model komputasi menyederhanakan sistem nyata.
2. Akurasi bergantung pada metode dan parameter.
3. Visualisasi bukan foto molekul.
4. Warna pada permukaan potensial adalah kode.
5. Energi relatif perlu ditafsirkan hati-hati.
6. Hasil komputasi perlu dibandingkan dengan data eksperimen jika tersedia.
7. Untuk pembelajaran, model digunakan untuk membantu memahami konsep.

Dengan memahami batas model, siswa tidak menjadi pengguna teknologi yang pasif, tetapi pembaca data komputasi yang kritis.

5.9.14 AI untuk Membuat Rubrik Pemodelan Kimia Komputasi Edukatif

Jika guru memberi tugas pemodelan molekul, rubrik diperlukan agar penilaian jelas. AI dapat membantu membuat rubrik. Rubrik tidak boleh hanya menilai keindahan gambar molekul, tetapi harus menilai akurasi struktur, interpretasi konsep, penggunaan model, validasi, dan refleksi.

Prompt:

“Buat rubrik penilaian proyek pemodelan molekul edukatif untuk siswa SMA/mahasiswa awal. Aspek penilaian: ketepatan struktur, penggunaan model 3D, interpretasi bentuk dan polaritas, hubungan dengan konsep kimia, kualitas visual, validasi sumber, keterbatasan model, dan refleksi penggunaan AI. Gunakan skala 1–4.”

Aspek penting dalam rubrik:

- Struktur molekul benar.
- Model yang digunakan sesuai tujuan.
- Interpretasi tidak melebihi data.
- Siswa mampu menjelaskan hubungan model dengan konsep.
- Siswa menyebut keterbatasan model.
- Jika menggunakan AI, siswa mencatat dan memverifikasi hasil.
- Siswa tidak membuat klaim tanpa dasar.

Rubrik ini membantu mengarahkan siswa agar menggunakan pemodelan komputasi secara ilmiah dan bertanggung jawab.

5.9.15 AI untuk Mengembangkan Asesmen Pemodelan Konsep Kimia Komputasi

Asesmen dalam kimia komputasi edukatif dapat berupa interpretasi model, analisis visual, laporan mini, presentasi, atau tugas refleksi. AI dapat membantu membuat soal berbasis model. Misalnya, siswa diberi visual permukaan potensial elektrostatik dan diminta menjelaskan daerah yang mungkin berinteraksi dengan kation atau anion. Siswa diberi dua konformer dan diminta menafsirkan kestabilan relatif. Siswa diberi model H_2O dan CO_2 lalu diminta menjelaskan polaritas.

Prompt:

“Buat asesmen visual kimia komputasi edukatif untuk mahasiswa awal. Soal mencakup interpretasi model 3D, polaritas molekul, permukaan potensial elektrostatik, konformasi, dan keterbatasan model. Sertakan kunci dan rubrik.”

Contoh soal:

“Dua molekul, CO_2 dan H_2O, sama-sama memiliki ikatan polar. Berdasarkan model 3D, mengapa CO_2 nonpolar sedangkan H_2O polar?”

Jawaban ideal:
CO_2 berbentuk linear dan simetris sehingga momen dipol ikatan C=O saling meniadakan. H_2O berbentuk bengkok sehingga momen dipol O–H tidak saling meniadakan. Akibatnya, H_2O memiliki dipol molekul.

Asesmen semacam ini menilai kemampuan representasional dan konseptual.

5.9.16 AI untuk Membangun Literasi Data Komputasi

Kimia komputasi menghasilkan data: energi, panjang ikatan, sudut ikatan, muatan parsial, frekuensi vibrasi, orbital, dan parameter lainnya. Dalam pembelajaran, data tersebut dapat digunakan untuk melatih literasi data. Siswa dapat belajar membaca tabel, membandingkan nilai, melihat tren, dan membuat kesimpulan hati-hati.

Contoh aktivitas:

"Diberikan data panjang ikatan C–C pada etana, etena, dan etuna. Siswa diminta membandingkan panjang ikatan dan menghubungkannya dengan orde ikatan."

AI dapat membantu membuat aktivitas:

"Buat LKPD literasi data komputasi tentang hubungan orde ikatan dan panjang ikatan. Gunakan contoh etana, etena, dan etuna. Sajikan data panjang ikatan yang realistis, pertanyaan analisis, dan pembahasan."

Guru harus memastikan data yang digunakan valid. Jika data simulatif, harus diberi label. Untuk data ilmiah, guru perlu menggunakan sumber yang dapat dipercaya.

Literasi data komputasi penting karena siswa belajar bahwa model menghasilkan angka yang perlu ditafsirkan, bukan sekadar gambar yang menarik.

5.9.17 Validasi Pemodelan Kimia Komputasi Berbantuan AI

Validasi dalam pemodelan kimia komputasi edukatif mencakup validasi struktur, metode, interpretasi, dan visual. Guru perlu memeriksa apakah struktur molekul benar, apakah model sesuai konsep yang diajarkan, apakah data masuk akal, dan apakah interpretasi tidak berlebihan.

Daftar cek validasi:

1. Apakah rumus dan struktur molekul benar?
2. Apakah valensi atom sesuai?
3. Apakah geometri molekul masuk akal?
4. Apakah stereokimia benar jika relevan?
5. Apakah model yang digunakan sesuai tujuan pembelajaran?
6. Apakah warna atau permukaan dijelaskan sebagai kode visual?
7. Apakah data energi, panjang ikatan, atau sudut ikatan divalidasi?
8. Apakah interpretasi sesuai konsep?
9. Apakah keterbatasan model dijelaskan?
10. Apakah hasil AI tidak dianggap sebagai data eksperimen?
11. Apakah software atau sumber model disebutkan?
12. Apakah siswa diarahkan untuk berpikir kritis?

Prompt validasi:

“Tinjau bahan ajar kimia komputasi edukatif berikut. Periksa struktur molekul, geometri, interpretasi permukaan potensial elektrostatik, energi relatif, keterbatasan model, dan potensi miskonsepsi. Berikan revisi konkret.”

Validasi sangat penting karena AI dapat membuat interpretasi yang terdengar ilmiah tetapi tidak sesuai data.

5.9.18 Risiko Miskonsepsi dalam Kimia Komputasi Edukatif

Beberapa miskonsepsi yang perlu diwaspadai:

1. Model molekul dianggap sebagai foto molekul nyata.
2. Warna pada permukaan molekul dianggap warna asli molekul.
3. Hasil komputasi dianggap selalu benar tanpa batas.
4. Energi minimum dianggap molekul tidak bergerak.
5. Molekul dianggap kaku dan tidak dinamis.
6. Orbital dianggap lintasan elektron.
7. Permukaan potensial elektrostatik dianggap permukaan fisik keras.
8. Model kecil dianggap mewakili seluruh sistem kompleks.
9. Data simulasi dianggap sama dengan data eksperimen.
10. Struktur 3D AI dianggap valid tanpa pemeriksaan kimia.

AI dapat membantu membuat aktivitas koreksi miskonsepsi:

“Buat aktivitas koreksi miskonsepsi tentang model molekul dan kimia komputasi. Berikan 10 pernyataan salah, minta siswa menjelaskan kesalahan dan memperbaiki konsepnya. Sertakan kunci dan pembahasan.”

Aktivitas ini penting agar siswa menjadi pengguna visualisasi komputasi yang kritis.

5.9.19 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu memahami potensi dan batas kimia komputasi edukatif. AI dapat membantu membuat penjelasan, LKPD, rubrik, asesmen, dan interpretasi visual. Namun, guru harus tetap memahami konsep dasar model molekul, geometri, polaritas, energi, dan representasi komputasi. Guru tidak harus menjadi ahli komputasi kuantum untuk menggunakan kimia komputasi edukatif, tetapi harus mampu menjelaskan model secara benar dan membatasi klaim.

Calon guru kimia perlu dilatih menggunakan perangkat visualisasi molekul dan AI secara terpadu. Mereka dapat diminta membuat aktivitas pembelajaran berbasis model molekul, menafsirkan hasil visual, menjelaskan keterbatasan model, dan memvalidasi output AI. Pelatihan ini penting karena generasi siswa semakin akrab dengan visual digital, tetapi belum tentu mampu menafsirkan visual ilmiah secara benar.

Contoh tugas:

“Gunakan AI dan perangkat visualisasi molekul untuk membuat LKPD kimia komputasi edukatif tentang polaritas molekul. Pilih lima molekul, tampilkan model 3D, tentukan bentuk, analisis polaritas, jelaskan keterbatasan model, dan susun asesmen formatif. Validasi seluruh struktur dan interpretasi.”

Tugas semacam ini mengembangkan literasi visual, literasi data, literasi AI, dan pedagogical content knowledge calon guru kimia.

Dengan demikian, AI dapat memperkuat pemodelan konsep kimia komputasi edukatif dengan membantu menjelaskan model molekul, optimasi geometri, energi relatif konformer, permukaan potensial elektrostatik, orbital molekul, interaksi antarmolekul, dinamika molekul, spektrum, dan hubungan struktur-sifat. Namun, semua visualisasi dan interpretasi harus divalidasi. Kimia komputasi edukatif yang baik bukan sekadar menampilkan molekul indah di layar, tetapi membantu siswa memahami struktur, energi, interaksi, dan keterbatasan model ilmiah secara kritis dan bermakna.

5.10 Risiko Miskonsepsi dalam Visualisasi AI dan Cara Memvalidasinya

Visualisasi berbantuan AI memiliki potensi besar untuk memperkaya pembelajaran kimia, tetapi juga membawa risiko pedagogis yang serius. Dalam kimia, visual bukan sekadar hiasan. Visual berperan sebagai representasi ilmiah yang membentuk cara peserta didik memahami atom, molekul, ion, elektron, ikatan, orbital, reaksi, energi, dan interaksi antarmolekul. Jika visual yang digunakan salah, tidak lengkap, atau terlalu dekoratif, siswa dapat membangun model mental yang keliru. Risiko ini semakin besar karena visual AI sering tampak sangat menarik, realistis, dan meyakinkan, meskipun secara ilmiah belum tentu benar.

Miskonsepsi dalam visualisasi kimia dapat muncul dari berbagai sumber. Pertama, visual AI dapat menggambarkan objek kimia secara tidak akurat, misalnya struktur molekul dengan valensi salah, muatan ion keliru, geometri tidak tepat, atau jumlah atom tidak sesuai. Kedua, visual AI dapat memperkuat model lama yang terbatas, seperti menggambarkan elektron mengelilingi inti seperti planet tanpa menjelaskan bahwa model tersebut bukan representasi atom modern. Ketiga, visual AI dapat mencampuradukkan level representasi, misalnya menggambarkan gaya antarmolekul sebagai ikatan kovalen biasa. Keempat, visual AI dapat menyederhanakan konsep secara berlebihan, sehingga siswa memperoleh gambaran yang mudah tetapi salah.

Karena itu, visualisasi AI dalam pembelajaran kimia harus selalu melalui validasi. Guru tidak boleh menggunakan gambar, diagram, animasi, model, atau infografik AI secara langsung tanpa pemeriksaan ilmiah. Validasi visual tidak hanya mencakup keindahan, keterbacaan, dan kerapian, tetapi terutama akurasi konsep, kesesuaian representasi, batas model, potensi miskonsepsi, dan keselarasan dengan tujuan pembelajaran. Dalam konteks ini, guru kimia berperan sebagai validator visual, bukan sekadar pengguna media.

5.10.1 Mengapa Visual AI Rentan Menimbulkan Miskonsepsi

Visual AI rentan menimbulkan miskonsepsi karena AI generatif bekerja dengan menghasilkan pola visual berdasarkan data pelatihan, bukan berdasarkan pemahaman kimia yang selalu

konsisten dengan hukum valensi, struktur molekul, mekanika kuantum, termodinamika, atau teori ikatan. AI dapat menghasilkan gambar yang secara artistik indah tetapi secara kimia salah. Misalnya, AI dapat menggambar atom karbon dengan lima ikatan tunggal dalam struktur organik sederhana, menggambar NaCl sebagai molekul diskret seperti HCl, atau menggambar orbital sebagai lintasan elektron melingkar.

Risiko kedua muncul karena visual AI sering memiliki kesan otoritatif. Siswa dan guru dapat merasa bahwa gambar yang tampak canggih pasti benar. Padahal, dalam sains, keindahan visual bukan indikator kebenaran. Gambar struktur molekul yang berwarna-warni, diagram orbital yang kompleks, atau animasi reaksi yang dramatis perlu diperiksa dengan prinsip kimia yang benar.

Risiko ketiga adalah hilangnya batas model. Dalam kimia, setiap visual merupakan model. Model bola-dan-tongkat, struktur Lewis, peta potensial elektrostatik, orbital, diagram energi, dan animasi partikel semuanya merupakan representasi yang menyederhanakan realitas. Jika batas model tidak dijelaskan, siswa dapat menganggap visual sebagai realitas literal. Mereka dapat mengira ikatan adalah batang fisik, orbital adalah awan nyata berwarna, elektron bergerak pada orbit pasti, atau warna pada permukaan molekul adalah warna asli molekul.

Risiko keempat adalah ketidaksesuaian dengan jenjang. Visual yang terlalu teknis dapat membingungkan siswa, sedangkan visual yang terlalu sederhana dapat menyesatkan. Misalnya, untuk siswa SMA, penggambaran orbital molekul kompleks tanpa penjelasan dapat menambah beban kognitif. Sebaliknya, penggambaran atom sebagai tata surya kecil tanpa klarifikasi dapat memperkuat miskonsepsi.

AI dapat membantu membuat visual, tetapi AI tidak otomatis mengetahui kebutuhan pedagogis kelas tertentu. Guru harus menilai apakah visual sesuai dengan tujuan, jenjang, prasyarat, dan miskonsepsi yang mungkin muncul.

5.10.2 Miskonsepsi Visual pada Struktur Atom

Struktur atom merupakan salah satu area paling rentan terhadap miskonsepsi visual. Gambar atom yang populer sering menampilkan inti di tengah dan elektron mengorbit dalam lintasan melingkar seperti planet. Model ini mudah dipahami, tetapi dapat menanamkan gagasan bahwa elektron bergerak pada jalur pasti. Dalam model atom modern, elektron dideskripsikan melalui orbital sebagai daerah probabilitas keberadaan elektron, bukan lintasan tetap seperti orbit planet.

Visual AI dapat memperkuat miskonsepsi ini jika prompt tidak hati-hati. Misalnya, prompt “gambar atom modern” sering dapat menghasilkan gambar inti atom dengan elektron berputar di lintasan melingkar. Untuk pembelajaran, visual seperti ini perlu diberi label sebagai model Bohr atau model sederhana historis, bukan model atom modern.

Validasi visual struktur atom perlu memeriksa beberapa hal:

1. Apakah visual membedakan model Bohr dan model orbital modern?
2. Apakah elektron digambarkan seolah-olah memiliki lintasan pasti?
3. Apakah orbital dijelaskan sebagai daerah probabilitas?

4. Apakah warna dan bentuk orbital dijelaskan sebagai representasi?
5. Apakah visual sesuai dengan tingkat pembelajaran?
6. Apakah ada catatan batas model?

Prompt validasi:

"Periksa visual atom berikut. Identifikasi apakah visual memperkuat miskonsepsi elektron mengorbit seperti planet. Revisi penjelasan agar membedakan model Bohr sebagai model historis dan orbital sebagai daerah probabilitas keberadaan elektron."

Dengan validasi seperti ini, visual atom dapat digunakan secara pedagogis tanpa menyesatkan.

5.10.3 Miskonsepsi Visual pada Ikatan Kimia

Ikatan kimia sering divisualisasikan melalui garis, batang, titik elektron, atau model bola-dan-tongkat. Visual ini membantu, tetapi dapat menimbulkan miskonsepsi jika tidak dijelaskan. Siswa dapat mengira bahwa ikatan kovalen adalah batang fisik yang menghubungkan atom, bahwa ikatan ion adalah pasangan molekul tunggal, atau bahwa transfer elektron selalu terjadi secara literal dari satu atom tunggal ke atom tunggal lain dalam semua konteks.

Visual AI dapat menggambar senyawa ionik seperti NaCl sebagai satu molekul kecil dengan satu batang antara Na dan Cl. Ini keliru untuk padatan NaCl karena NaCl tersusun atas kisi ionik, bukan molekul diskret. Visual AI juga dapat menggambar elektron sebagai bola kecil statis yang berada tepat di antara dua atom tanpa menjelaskan bahwa pasangan elektron ikatan adalah distribusi elektron.

Validasi visual ikatan kimia harus mencakup:

1. Apakah senyawa ionik ditampilkan sebagai kisi ionik, bukan molekul tunggal?
2. Apakah struktur kovalen tidak ditampilkan sebagai batang fisik tanpa penjelasan?
3. Apakah elektron valensi dan pasangan elektron digambarkan sesuai?
4. Apakah muatan ion benar?
5. Apakah polaritas ikatan ditampilkan dengan arah dipol yang benar?
6. Apakah hubungan struktur dan sifat zat dijelaskan?
7. Apakah model visual diberi batas?

Contoh prompt revisi:

"Ubah visual NaCl yang menampilkan satu pasangan Na—Cl menjadi visual kisi ionik. Tampilkan banyak ion Na^+ dan Cl^- tersusun bergantian, jelaskan bahwa rumus NaCl menyatakan perbandingan ion, bukan molekul diskret."

Validasi seperti ini sangat penting karena kesalahan visual ikatan kimia dapat berdampak pada pemahaman sifat zat, daya hantar listrik, titik leleh, dan kelarutan.

5.10.4 Miskonsepsi Visual pada Geometri Molekul dan VSEPR

Visual geometri molekul dapat menimbulkan miskonsepsi jika struktur tiga dimensi digambar seperti struktur dua dimensi. Siswa sering mengira molekul bersifat datar karena buku atau gambar AI menampilkan semua atom pada satu bidang. Padahal, banyak molekul memiliki bentuk tiga dimensi, seperti CH_4 tetrahedral, NH_3 piramida trigonal, dan H_2O bengkok. Kesalahan lain adalah mengabaikan pasangan elektron bebas karena tidak terlihat sebagai atom.

AI dapat menghasilkan gambar molekul yang indah tetapi salah sudut, salah bentuk, atau tidak menampilkan pasangan elektron bebas. Misalnya, H_2O dapat digambar linear, NH_3 dapat digambar datar, atau CO_2 dapat digambar bengkok tanpa alasan. Visual seperti ini sangat berbahaya karena geometri molekul berkaitan langsung dengan polaritas dan gaya antarmolekul.

Validasi visual VSEPR perlu memeriksa:

1. Apakah struktur Lewis benar?
2. Apakah jumlah domain elektron benar?
3. Apakah ikatan rangkap dihitung sebagai satu domain?
4. Apakah pasangan elektron bebas diperhitungkan?
5. Apakah geometri domain elektron dan bentuk molekul dibedakan?
6. Apakah sudut ikatan masuk akal?
7. Apakah polaritas molekul ditentukan berdasarkan bentuk?
8. Apakah visual benar-benar tiga dimensi jika konsepnya 3D?

Prompt validasi:

“Periksa visual geometri molekul H_2O, NH_3, CH_4, CO_2, dan BF_3. Pastikan bentuk molekul, pasangan elektron bebas, sudut ikatan, dan polaritas ditampilkan benar. Tandai bagian yang berpotensi menimbulkan miskonsepsi.”

Untuk bentuk molekul yang presisi, guru sebaiknya menggunakan perangkat visualisasi kimia seperti Avogadro, Jmol/JSmol, MolView, atau perangkat komputasi yang sesuai, bukan hanya gambar generatif umum.

5.10.5 Miskonsepsi Visual pada Gaya Antarmolekul

Gaya antarmolekul sangat rentan disalahpahami karena siswa sering mencampuradukkan gaya intra- dan antarmolekul. Visual AI dapat memperparah kesalahan ini jika tidak membedakan garis ikatan kovalen dan garis interaksi antarmolekul. Misalnya, ikatan hidrogen dapat digambar sebagai ikatan kovalen biasa, atau pendidihan air dapat digambarkan sebagai pemutusan ikatan O–H dalam molekul air.

Visual yang benar harus membedakan ikatan kovalen dalam molekul dan gaya antarmolekul antar molekul. Pada air, ikatan O–H dalam molekul H_2O dapat digambar dengan garis penuh, sedangkan ikatan hidrogen antarmolekul digambar dengan garis putus-putus. Saat air mendidih, molekul H_2O tetap utuh; yang terutama diatasi adalah gaya antarmolekul antar molekul.

Validasi visual gaya antarmolekul perlu memeriksa:

1. Apakah ikatan intramolekul dan gaya antarmolekul dibedakan?
2. Apakah ikatan hidrogen tidak digambar sebagai ikatan kovalen biasa?
3. Apakah molekul tetap utuh dalam perubahan wujud?
4. Apakah gaya dispersi London tidak dihilangkan dari molekul nonpolar?
5. Apakah dipol-dipol hanya diberikan pada molekul polar?
6. Apakah ion-dipol menampilkan orientasi molekul air yang benar?
7. Apakah hubungan titik didih dan kelarutan tidak disederhanakan secara berlebihan?

Prompt revisi:

"Perbaiki visual pendidihan air agar tidak menunjukkan pemutusan ikatan O–H. Tampilkan molekul H_2O tetap utuh, jarak antarmolekul meningkat, dan ikatan hidrogen antarmolekul teratasi."

Dengan demikian, visual gaya antarmolekul harus menekankan interaksi antarpartikel, bukan mengubah identitas molekul.

5.10.6 Miskonsepsi Visual pada Reaksi Kimia dan Persamaan Reaksi

Visual reaksi kimia dapat menimbulkan miskonsepsi jika atom tampak hilang, muncul dari tidak ada, atau berubah menjadi unsur lain tanpa penjelasan nuklir. Dalam reaksi kimia biasa, atom disusun ulang; jumlah atom setiap unsur tetap. Visual AI yang tidak menjaga kekekalan atom dapat membuat siswa salah memahami hukum kekekalan massa.

Kesalahan lain adalah visual reaksi yang tidak sesuai persamaan setara. Misalnya, animasi pembentukan air yang menampilkan satu molekul H_2 dan satu molekul O_2 menghasilkan satu molekul H_2O tanpa menyisakan atom O. Ini keliru karena tidak memenuhi kekekalan atom. Visual yang benar harus menunjukkan $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$.

Validasi visual reaksi kimia harus memeriksa:

1. Apakah jumlah atom sebelum dan sesudah sama?
2. Apakah persamaan reaksi setara?
3. Apakah rumus zat benar?
4. Apakah koefisien sesuai dengan visual partikel?
5. Apakah fase zat ditampilkan jika relevan?
6. Apakah ion penonton dibedakan pada reaksi ionik?
7. Apakah elektron dan muatan benar pada reaksi redoks?
8. Apakah produk reaksi sesuai kimia yang valid?

Prompt validasi:

"Periksa animasi/visual reaksi berikut. Cocokkan jumlah atom pada sisi pereaksi dan produk, periksa persamaan setara, rumus zat, koefisien, muatan, dan fase. Tandai kesalahan visual yang dapat menimbulkan miskonsepsi."

Visual reaksi yang baik harus menghubungkan fenomena makroskopik, partikel, dan persamaan simbolik secara konsisten.

5.10.7 Miskonsepsi Visual pada Mekanisme Reaksi

Mekanisme reaksi merupakan salah satu area yang paling berisiko jika divisualisasikan dengan AI tanpa validasi. Pada mekanisme organik, arah panah elektron harus benar. Panah lengkung menunjukkan perpindahan pasangan elektron, bukan perpindahan atom. Jika AI menggambar panah dari elektrofil ke nukleofil, atau dari atom tanpa pasangan elektron ke pusat lain, mekanisme menjadi salah.

Kesalahan lain adalah tidak menjaga muatan, menggambar zat antara yang tidak masuk akal, menyamakan zat antara dengan keadaan transisi, atau menampilkan katalis seolah-olah habis dalam reaksi. Diagram energi juga dapat salah jika jumlah puncak tidak sesuai jumlah tahap atau jika katalis digambarkan mengubah energi produk secara permanen.

Validasi mekanisme reaksi harus memeriksa:

1. Apakah panah elektron dimulai dari sumber elektron?
2. Apakah panah menuju pusat penerima elektron yang tepat?
3. Apakah muatan setiap spesies benar?
4. Apakah jumlah atom tetap?
5. Apakah zat antara dan keadaan transisi dibedakan?
6. Apakah katalis diregenerasi?
7. Apakah diagram energi sesuai jumlah tahap?
8. Apakah tahap penentu laju dijelaskan dengan benar?
9. Apakah mekanisme sesuai literatur?

Prompt validasi:

“Periksa mekanisme reaksi berikut. Tinjau arah panah elektron, muatan, zat antara, keadaan transisi, katalis, diagram energi, dan kesesuaian dengan reaksi total. Berikan koreksi detail.”

Untuk mekanisme organik, visual final sebaiknya dibuat menggunakan perangkat kimia seperti ChemDraw, MarvinSketch, atau aplikasi sejenis, lalu divalidasi dengan buku teks atau literatur.

5.10.8 Miskonsepsi Visual pada Kimia Organik dan Stereokimia

Kimia organik sangat bergantung pada visualisasi struktur. AI dapat salah menggambar valensi karbon, gugus fungsi, struktur garis, stereokimia, konfigurasi R/S, isomer cis-trans, atau konformasi. Kesalahan ini dapat berdampak besar karena struktur menentukan nama, sifat, dan reaktivitas.

Miskonsepsi visual yang sering muncul dalam kimia organik antara lain:

1. Struktur garis dianggap tidak memiliki atom karbon.

2. Molekul organik dianggap datar.
3. Wedge-dash tidak dipahami sebagai orientasi 3D.
4. Enansiomer dianggap dapat ditumpangtindihkan.
5. Konformasi dianggap isomer konstitusional.
6. Karbon kiral dianggap selalu tampak dari gambar datar.
7. Ikatan rangkap dianggap dapat berotasi bebas seperti ikatan tunggal.
8. Model bola-dan-tongkat dianggap menunjukkan ukuran atom sebenarnya.

Visual AI dapat membuat struktur organik yang tampak profesional tetapi salah valensi. Misalnya, atom karbon dapat memiliki lima ikatan atau oksigen memiliki tiga ikatan tanpa muatan yang sesuai. Karena itu, guru harus memeriksa setiap struktur organik secara manual.

Validasi visual organik mencakup:

1. Valensi atom.
2. Jumlah atom.
3. Gugus fungsi.
4. Muatan formal.
5. Stereokimia.
6. Konfigurasi cis-trans atau E/Z.
7. Konformasi.
8. Nama senyawa.
9. Kesesuaian struktur dengan rumus molekul.
10. Batas model.

Prompt validasi:

“Periksa struktur organik berikut. Tinjau valensi atom, jumlah ikatan, gugus fungsi, stereokimia, konfigurasi, nama senyawa, dan potensi miskonsepsi. Berikan revisi.”

Untuk visual organik presisi, gunakan perangkat kimia khusus, bukan hanya generator gambar umum.

5.10.9 Miskonsepsi Visual pada Kimia Komputasi Edukatif

Kimia komputasi edukatif memperkenalkan visual yang lebih kompleks seperti orbital molekul, permukaan potensial elektrostatik, densitas elektron, optimasi geometri, dan dinamika molekul. Visual ini sangat berguna, tetapi juga rentan disalahartikan. Siswa dapat mengira bahwa warna pada permukaan potensial elektrostatik adalah warna asli molekul, orbital adalah lintasan elektron, atau model komputasi adalah foto nyata molekul.

Visual kimia komputasi harus selalu disertai penjelasan bahwa model merupakan representasi data. Permukaan potensial elektrostatik menunjukkan variasi potensial relatif pada permukaan molekul dengan kode warna. Orbital menunjukkan fungsi matematis/probabilistik yang divisualisasikan, bukan awan nyata yang dapat dilihat langsung. Optimasi geometri menunjukkan struktur minimum energi berdasarkan metode tertentu, bukan bentuk mutlak tanpa kondisi.

Validasi visual kimia komputasi perlu memeriksa:

1. Apakah visual dijelaskan sebagai representasi model?
2. Apakah warna dijelaskan sebagai kode?
3. Apakah metode atau sumber model disebutkan jika relevan?
4. Apakah interpretasi tidak melampaui data?
5. Apakah orbital tidak disebut sebagai lintasan elektron?
6. Apakah energi relatif dijelaskan sesuai konteks?
7. Apakah keterbatasan metode disampaikan?
8. Apakah hasil komputasi tidak disamakan dengan data eksperimen tanpa bukti?

Prompt revisi:

"Tambahkan catatan pedagogis pada visual permukaan potensial elektrostatik berikut. Jelaskan bahwa warna adalah kode visual untuk daerah relatif kaya atau miskin elektron, bukan warna nyata molekul. Jelaskan batas interpretasinya untuk siswa."

Dengan cara ini, visual komputasi dapat digunakan secara kritis dan edukatif.

5.10.10 Prinsip Validasi Visual AI dalam Pembelajaran Kimia

Validasi visual AI harus dilakukan secara sistematis. Guru dapat menggunakan prinsip berikut.

Pertama, **validasi akurasi ilmiah**. Periksa apakah struktur, rumus, muatan, geometri, reaksi, dan interpretasi benar.

Kedua, **validasi representasi**. Periksa apakah visual sesuai dengan level representasi yang dimaksud: makroskopik, submikroskopik, simbolik, atau matematis.

Ketiga, **validasi batas model**. Pastikan visual diberi penjelasan bahwa ia adalah model dengan fungsi dan keterbatasan tertentu.

Keempat, **validasi potensi miskonsepsi**. Tanyakan: "Kesalahpahaman apa yang mungkin muncul jika siswa melihat visual ini?"

Kelima, **validasi jenjang**. Pastikan visual sesuai dengan usia, prasyarat, dan tingkat abstraksi siswa.

Keenam, **validasi keterbacaan**. Label, panah, warna, simbol, dan teks harus jelas.

Ketujuh, **validasi integrasi pedagogis**. Visual harus digunakan dalam aktivitas belajar, bukan hanya ditampilkan.

Kedelapan, **validasi sumber**. Jika visual memuat data atau klaim, sumbernya harus jelas dan dapat diperiksa.

Kesembilan, **validasi teknis**. Pastikan resolusi, kontras, ukuran teks, dan komposisi mendukung pembelajaran.

Kesepuluh, **validasi etika**. Pastikan penggunaan AI, sumber gambar, dan hak cipta diperhatikan sesuai kebijakan.

Prinsip ini membantu guru melihat visual AI sebagai objek akademik yang perlu diperiksa, bukan hanya produk estetis.

5.10.11 Daftar Cek Validasi Visual AI Kimia

Guru dapat menggunakan daftar cek berikut sebelum menggunakan visual AI dalam pembelajaran.

Aspek Validasi	Pertanyaan Pemeriksaan
Akurasi struktur	Apakah jumlah atom, valensi, dan ikatan benar?
Akurasi muatan	Apakah ion, muatan formal, dan dipol benar?
Akurasi geometri	Apakah bentuk molekul dan sudut ikatan masuk akal?
Akurasi reaksi	Apakah persamaan reaksi setara dan sesuai visual?
Representasi	Apakah visual jelas berada pada level makro, submikro, simbolik, atau model?
Batas model	Apakah keterbatasan visual dijelaskan?
Potensi miskonsepsi	Apakah visual dapat disalahartikan?
Label	Apakah label, panah, dan simbol jelas?
Jenjang	Apakah sesuai dengan kemampuan siswa?
Sumber	Apakah data atau struktur dapat diverifikasi?
Keterbacaan	Apakah visual mudah dibaca?
Etika	Apakah penggunaan AI dan sumber dinyatakan jika diperlukan?

Daftar cek ini dapat dijadikan bagian dari prosedur pengembangan bahan ajar. Guru dapat menambahkan kolom “revisi” dan “status validasi” agar proses terdokumentasi.

5.10.12 Prompt untuk Membantu Validasi Visual AI

AI dapat digunakan untuk membantu validasi awal, meskipun tidak boleh menjadi validator akhir. Guru dapat meminta AI mengkritisi visual atau deskripsi visual.

Prompt umum:

“Tinjau deskripsi visual kimia berikut secara kritis. Identifikasi kemungkinan kesalahan konsep, potensi miskonsepsi, ketidaktepatan label, kesalahan representasi, dan bagian yang perlu divalidasi dengan sumber kimia. Berikan revisi konkret.”

Prompt khusus struktur molekul:

“Periksa apakah struktur molekul berikut memiliki valensi, muatan, gugus fungsi, dan geometri yang benar. Tandai bagian yang salah dan sarankan perbaikan.”

Prompt khusus reaksi:

“Periksa visual reaksi berikut. Pastikan jumlah atom sebelum dan sesudah sama, persamaan reaksi setara, fase zat benar, dan visual partikel konsisten dengan persamaan.”

Prompt khusus mekanisme:

“Periksa mekanisme reaksi berikut. Pastikan arah panah elektron, muatan, zat antara, keadaan transisi, dan katalis benar.”

Prompt khusus miskonsepsi:

“Dari sudut pandang pendidikan kimia, miskonsepsi apa yang mungkin muncul dari visual ini? Bagaimana visual atau caption perlu direvisi?”

Dengan prompt seperti ini, AI dapat membantu guru menemukan masalah awal. Namun, hasil validasi AI harus tetap diperiksa dengan pengetahuan kimia dan sumber valid.

5.10.13 Caption sebagai Alat Pencegah Miskonsepsi

Caption atau keterangan gambar memiliki peran penting dalam mencegah miskonsepsi. Visual yang sama dapat dipahami berbeda tergantung caption-nya. Gambar atom Bohr tanpa caption dapat membuat siswa mengira elektron benar-benar mengorbit seperti planet. Namun, jika caption menjelaskan bahwa gambar tersebut adalah model historis yang membantu memahami tingkat energi tetapi tidak menggambarkan lintasan elektron secara modern, risiko miskonsepsi berkurang.

Caption yang baik harus memuat:

1. Apa yang ditampilkan visual.
2. Konsep utama yang harus dipahami.
3. Bagian visual yang merupakan penyederhanaan.
4. Batas model.
5. Miskonsepsi yang perlu dihindari jika relevan.

Contoh caption untuk model bola-dan-tongkat:

“Model bola-dan-tongkat ini menunjukkan konektivitas atom dan bentuk umum molekul. Bola dan batang bukan ukuran atau bentuk nyata atom dan ikatan. Model ini tidak menunjukkan distribusi elektron secara lengkap.”

Contoh caption untuk ikatan hidrogen:

“Garis putus-putus menunjukkan ikatan hidrogen antarmolekul, bukan ikatan kovalen O–H. Molekul H_2O tetap utuh; interaksi terjadi antara $H\delta^+$ pada satu molekul dan pasangan elektron bebas O pada molekul lain.”

AI dapat membantu membuat caption pedagogis. Prompt:

“Buat caption pedagogis untuk visual kimia berikut. Caption harus menjelaskan konsep, batas model, dan miskonsepsi yang perlu dihindari.”

Caption yang baik sering menjadi perbedaan antara visual yang mendidik dan visual yang menyesatkan.

5.10.14 Validasi Visual Melalui Pertanyaan Siswa

Validasi visual tidak hanya dilakukan oleh guru sebelum pembelajaran, tetapi juga dapat dilakukan melalui respons siswa. Guru dapat menampilkan visual dan bertanya kepada siswa apa yang mereka pahami dari visual tersebut. Jawaban siswa dapat mengungkap apakah visual membantu atau justru membingungkan.

Pertanyaan validasi kepada siswa:

1. Apa yang ditunjukkan visual ini?
2. Bagian mana yang menurutmu paling penting?
3. Apakah visual ini menunjukkan benda nyata atau model?
4. Apa arti warna/panah/garis dalam visual?
5. Bagian mana yang masih membingungkan?
6. Miskonsepsi apa yang mungkin muncul dari visual ini?
7. Bagaimana kamu menjelaskan visual ini dengan kata-katamu sendiri?

AI dapat membantu membuat lembar refleksi visual:

“Buat lembar refleksi siswa untuk mengevaluasi visual kimia. Pertanyaan harus membantu siswa menjelaskan makna visual, batas model, dan kemungkinan miskonsepsi.”

Dengan melibatkan siswa, guru dapat mengetahui apakah visual efektif. Visual yang tampak jelas bagi guru belum tentu jelas bagi siswa. Respons siswa dapat menjadi dasar revisi visual.

5.10.15 Strategi Menggunakan Visual AI secara Aman

Ada beberapa strategi praktis agar visual AI digunakan secara aman dalam pembelajaran kimia.

Pertama, gunakan AI untuk membuat **rancangan awal**, bukan produk final tanpa validasi. Kedua, gunakan perangkat kimia khusus untuk struktur dan model yang membutuhkan presisi. Ketiga, selalu tambahkan caption yang menjelaskan batas model. Keempat, tampilkan visual bersama pertanyaan analisis. Kelima, bandingkan visual AI dengan sumber tepercaya. Keenam, gunakan visual AI untuk aktivitas “temukan kesalahan” jika visualnya belum sempurna. Ketujuh, dokumentasikan revisi visual.

Strategi lain adalah menggunakan pendekatan “visual benar vs visual salah”. Guru dapat menunjukkan dua gambar: satu salah dan satu benar. Siswa diminta membandingkan. Misalnya,

gambar NaCl sebagai molekul tunggal dibandingkan dengan kisi ionik. Atau gambar air mendidih yang memutus ikatan O–H dibandingkan dengan gambar molekul H_2O tetap utuh. Aktivitas ini membantu siswa mengembangkan literasi visual.

AI juga dapat digunakan untuk membuat alternatif visual dengan tingkat kompleksitas berbeda. Untuk siswa awal, visual dibuat sederhana. Untuk siswa lanjut, visual lebih detail. Guru memilih sesuai kebutuhan.

5.10.16 Dokumentasi Validasi Visual AI

Dalam pengembangan bahan ajar, validasi visual sebaiknya didokumentasikan. Dokumentasi ini menunjukkan bahwa guru tidak sekadar mengambil gambar AI, tetapi melakukan kurasi profesional. Dokumentasi dapat berbentuk tabel.

Visual	Risiko Miskonsepsi	Temuan Validasi	Revisi	Status
Atom Bohr	Elektron dianggap orbit planet	Belum ada batas model	Tambah caption model historis	Valid
NaCl	Dianggap molekul diskret	Visual hanya pasangan Na-Cl	Ubah menjadi kisi ionik	Valid
H_2O mendidih	Ikatan O–H dianggap putus	Visual awal menunjukkan molekul pecah	Revisi molekul tetap utuh	Valid
Mekanisme organik	Panah elektron salah	Panah berasal dari elektrofil	Perbaiki arah panah	Perlu cek ulang

Dokumentasi membantu guru melakukan revisi berkelanjutan dan dapat menjadi bagian dari portofolio profesional.

5.10.17 Peran Guru sebagai Validator Visual AI

Guru berperan sangat penting dalam penggunaan visual AI. Guru harus memahami konsep kimia, mengetahui potensi miskonsepsi, mampu membaca visual, dan mampu menjelaskan batas model. Guru juga perlu menentukan apakah visual tersebut layak digunakan, perlu direvisi, atau harus ditolak.

Peran guru mencakup:

1. Menentukan tujuan visual.
2. Menulis prompt yang tepat.
3. Memilih visual yang relevan.
4. Memeriksa akurasi kimia.
5. Menambahkan label dan caption.
6. Menjelaskan batas model.
7. Mengaitkan visual dengan aktivitas belajar.
8. Menggunakan visual untuk asesmen.
9. Mengevaluasi respons siswa.
10. Merevisi visual berdasarkan temuan.

AI tidak menggantikan kompetensi guru. Sebaliknya, AI menuntut guru memiliki literasi visual dan literasi AI yang lebih kuat. Guru harus mampu bertanya: “Apakah visual ini benar, membantu, dan aman secara pedagogis?”

5.10.18 Implikasi bagi Calon Guru Kimia

Calon guru kimia perlu dilatih memvalidasi visual AI sejak masa pendidikan guru. Mereka tidak cukup diajari membuat gambar dengan AI, tetapi harus diajari memeriksa kebenaran gambar. Latihan validasi visual dapat menjadi bagian dari mata kuliah pembelajaran kimia, media pembelajaran, kimia komputasi, atau microteaching.

Contoh tugas calon guru:

“Buat tiga visual AI untuk topik kimia: struktur atom, ikatan kimia, dan gaya antarmolekul. Untuk setiap visual, lakukan validasi konsep, identifikasi potensi miskonsepsi, tambahkan caption pedagogis, dan revisi visual atau deskripsinya.”

Tugas lain:

“Diberikan lima visual kimia AI yang mengandung kesalahan. Identifikasi kesalahan, jelaskan konsep yang benar, dan buat instruksi revisi.”

Latihan semacam ini membantu calon guru menjadi pengguna AI yang kritis. Mereka belajar bahwa visualisasi kimia membutuhkan pengetahuan konten, pedagogi, dan representasi.

5.10.19 Kerangka Kerja Validasi: Cek–Bandingkan–Revisi–Uji

Guru dapat menggunakan kerangka kerja sederhana: **Cek–Bandingkan–Revisi–Uji**.

1. **Cek**
   Periksa visual secara mandiri: struktur, muatan, geometri, simbol, label, dan potensi miskonsepsi.
2. **Bandingkan**
   Cocokkan visual dengan buku teks, jurnal pendidikan kimia, sumber ilmiah, atau perangkat kimia yang valid.
3. **Revisi**
   Perbaiki visual, label, caption, atau instruksi. Jika visual tidak dapat diperbaiki, jangan digunakan sebagai representasi utama.
4. **Uji**
   Tampilkan kepada siswa atau sejawat dan lihat apakah interpretasi mereka sesuai konsep. Gunakan respons untuk revisi lebih lanjut.

Kerangka ini praktis dan dapat diterapkan pada berbagai visual: atom, molekul, reaksi, mekanisme, diagram energi, dan model komputasi.

5.10.20 Prinsip Akhir Penggunaan Visual AI dalam Kimia

Beberapa prinsip akhir perlu ditegaskan. Pertama, visual AI harus diperlakukan sebagai draf, bukan kebenaran final. Kedua, akurasi konsep lebih penting daripada keindahan gambar. Ketiga, setiap visual kimia perlu caption yang menjelaskan konsep dan batas model. Keempat, guru harus memeriksa struktur, muatan, geometri, reaksi, dan simbol. Kelima, visual harus mendukung tujuan pembelajaran. Keenam, visual harus membantu siswa menghubungkan level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Ketujuh, visual tidak boleh memperkuat miskonsepsi. Kedelapan, untuk struktur presisi, gunakan perangkat kimia khusus. Kesembilan, siswa perlu dilatih mengkritisi visual AI. Kesepuluh, validasi visual harus menjadi bagian dari budaya pengembangan bahan ajar kimia.

Dengan demikian, AI dapat menjadi alat yang sangat kuat untuk visualisasi konsep kimia, tetapi juga dapat menjadi sumber miskonsepsi jika digunakan tanpa validasi. Visual kimia yang baik bukan hanya indah, tetapi benar secara ilmiah, jelas secara representasional, sesuai jenjang, memiliki batas model, dan digunakan dalam aktivitas belajar yang bermakna. Guru kimia harus menjadi penjaga kualitas visual agar AI benar-benar membantu siswa memahami dunia atom, molekul, reaksi, energi, dan interaksi partikel secara lebih akurat dan mendalam.

Simpulan Bab 5

Bab 5 telah membahas peran AI dalam visualisasi dan representasi konsep kimia. Pembahasan dimulai dari urgensi visualisasi dalam pembelajaran kimia, kemudian dilanjutkan dengan penerapan AI untuk menjelaskan struktur atom, konfigurasi elektron, ikatan kimia, geometri molekul, gaya antarmolekul, reaksi kimia, mekanisme reaksi, kimia organik, model molekul, kimia komputasi edukatif, serta risiko miskonsepsi dalam visualisasi AI.

Kesimpulan utama bab ini adalah bahwa visualisasi merupakan kebutuhan mendasar dalam pembelajaran kimia karena kimia bekerja pada level representasi yang kompleks. Peserta didik harus mampu menghubungkan fenomena makroskopik, penjelasan submikroskopik, dan simbol kimia. AI dapat membantu memperkaya visualisasi, tetapi guru harus memastikan bahwa setiap visual benar secara konsep, sesuai jenjang, dan tidak menimbulkan miskonsepsi.

Pada bagian struktur atom dan konfigurasi elektron, AI dapat membantu menjelaskan proton, neutron, elektron, nomor atom, nomor massa, isotop, ion, orbital, konfigurasi elektron, dan elektron valensi. Namun, guru harus berhati-hati terhadap visual atom yang menyerupai sistem tata surya tanpa batas model. Siswa perlu memahami perbedaan orbit dan orbital serta hubungan konfigurasi elektron dengan sifat unsur.

Pada bagian ikatan kimia, AI dapat membantu memvisualisasikan ikatan ion, kovalen, kovalen polar, kovalen nonpolar, ikatan logam, struktur Lewis, resonansi, energi ikatan, dan hubungan ikatan dengan sifat zat. Namun, visualisasi harus mencegah miskonsepsi seperti NaCl sebagai molekul tunggal, ikatan kovalen sebagai batang fisik, atau pemutusan ikatan sebagai proses yang melepaskan energi.

Pada bagian geometri molekul dan teori VSEPR, AI dapat membantu membuat visual bentuk molekul, domain elektron, pasangan elektron bebas, sudut ikatan, dan polaritas molekul. Pembelajaran geometri molekul harus menekankan bahwa struktur Lewis dua dimensi tidak selalu menunjukkan bentuk tiga dimensi. Siswa perlu memahami perbedaan geometri domain elektron dan bentuk molekul serta hubungan bentuk molekul dengan polaritas.

Pada bagian gaya antarmolekul, AI dapat membantu menjelaskan gaya dispersi London, dipol-dipol, ikatan hidrogen, ion-dipol, titik didih, kelarutan, viskositas, dan tegangan permukaan. Namun, guru harus memastikan siswa membedakan ikatan intramolekul dan gaya antarmolekul. Visualisasi pendidihan air, misalnya, harus menunjukkan bahwa molekul H_2O tetap utuh dan yang terutama diatasi adalah interaksi antarmolekul.

Pada bagian reaksi kimia dan persamaan reaksi, AI dapat membantu menampilkan perubahan partikel, hukum kekekalan massa, penyetaraan reaksi, simbol fase, persamaan ion lengkap, persamaan ion bersih, jenis reaksi, dan hubungan persamaan reaksi dengan stoikiometri. Namun, setiap persamaan reaksi yang dihasilkan AI harus divalidasi karena kesalahan koefisien, rumus zat, fase, muatan, atau produk dapat terjadi.

Pada bagian mekanisme reaksi, AI dapat membantu membuat diagram alur, storyboard animasi, diagram energi, penjelasan zat antara, keadaan transisi, katalis, nukleofil, elektrofil, dan panah elektron. Akan tetapi, mekanisme reaksi merupakan area yang sangat memerlukan validasi ketat. Kesalahan arah panah elektron, muatan, atau struktur zat antara dapat menghasilkan miskonsepsi yang serius.

Pada bagian kimia organik dan model molekul, AI dapat membantu memvisualisasikan struktur garis, isomer, stereoisomer, karbon kiral, konformasi, gugus fungsi, hubungan struktur-sifat, dan model molekul tiga dimensi. Namun, guru harus memeriksa valensi atom, stereokimia, geometri, nama senyawa, dan kesesuaian struktur. Untuk struktur presisi, guru sebaiknya menggunakan perangkat kimia khusus.

Pada bagian kimia komputasi edukatif, AI dapat membantu menjelaskan model molekul, optimasi geometri, energi relatif konformer, permukaan potensial elektrostatik, orbital molekul, interaksi antarmolekul, dinamika molekul, dan spektrum. Namun, siswa perlu memahami bahwa model komputasi adalah representasi berbasis metode dan asumsi tertentu, bukan foto langsung molekul.

Akhirnya, bab ini menegaskan pentingnya validasi visual AI. Visual AI harus diperiksa dari aspek akurasi ilmiah, representasi, batas model, potensi miskonsepsi, kesesuaian jenjang, keterbacaan, sumber, dan integrasi pedagogis. Guru harus menggunakan kerangka kerja cek–bandingkan–revisi–uji agar visual AI benar-benar mendukung pembelajaran.

Dengan demikian, AI dapat memperkaya pembelajaran kimia melalui visualisasi yang lebih beragam, interaktif, dan mudah diakses. Namun, AI tidak menggantikan peran guru sebagai ahli konten dan pedagog. Guru tetap menjadi penentu kualitas visual, pengarah interpretasi, penjaga akurasi, dan fasilitator pemahaman konseptual. Visualisasi AI yang baik bukan hanya menarik secara estetis, tetapi juga benar secara kimia, bermakna secara pedagogis, dan mampu membantu siswa membangun model mental yang akurat.

Daftar Pustaka Bab 5

Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction, 16*(3), 183–198. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001

Bodner, G. M., & Domin, D. S. (2000). Mental models: The role of representations in problem solving in chemistry. *University Chemistry Education, 4*(1), 24–30.

Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice, 8*(3), 293–307. https://doi.org/10.1039/B7RP90006F

Chittleborough, G. D., & Treagust, D. F. (2007). The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice, 8*(3), 274–292. https://doi.org/10.1039/B6RP90035F

Cook, M. P. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education, 90*(6), 1073–1091. https://doi.org/10.1002/sce.20164

Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 9–27). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_2

Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (Eds.). (2009). *Multiple representations in chemical education*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8

Jones, L. L., Jordan, K. D., & Stillings, N. A. (2005). Molecular visualization in chemistry education: The role of multidisciplinary collaboration. *Chemistry Education Research and Practice, 6*(3), 136–149. https://doi.org/10.1039/B5RP90005K

Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning, 7*(2), 75–83. https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x

Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education, 70*(9), 701–705. https://doi.org/10.1021/ed070p701

Keig, P. F., & Rubba, P. A. (1993). Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching, 30*(8), 883–903. https://doi.org/10.1002/tea.3660300807

Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 121–145). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_8

Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.

McCollum, B. M., Regier, L., Leong, J., Simpson, S., & Sterner, S. (2014). The effects of using touch-screen devices on students' molecular visualization and representational competence skills. *Journal of Chemical Education, 91*(11), 1810–1817. https://doi.org/10.1021/ed400674v

Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education, 69*(3), 191–196. https://doi.org/10.1021/ed069p191

Nakhleh, M. B., & Krajcik, J. S. (1994). Influence of levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base, and pH concepts. *Journal of Research in Science Teaching, 31*(10), 1077–1096. https://doi.org/10.1002/tea.3660311004

Sanger, M. J. (2000). Using particulate drawings to determine and improve students' conceptions of pure substances and mixtures. *Journal of Chemical Education, 77*(6), 762–766. https://doi.org/10.1021/ed077p762

Stieff, M. (2011). Improving representational competence using molecular simulations embedded in inquiry activities. *Journal of Research in Science Teaching, 48*(10), 1137–1158. https://doi.org/10.1002/tea.20438

Taber, K. S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: Some considerations from educational research. *Chemistry Education Research and Practice, 2*(2), 123–158. https://doi.org/10.1039/B1RP90014E

Taber, K. S. (2002). *Chemical misconceptions: Prevention, diagnosis and cure*. Royal Society of Chemistry.

Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education, 33*(2), 179–195. https://doi.org/10.1080/09500690903386435

Tasker, R., & Dalton, R. (2006). Research into practice: Visualisation of the molecular world using animations. *Chemistry Education Research and Practice, 7*(2), 141–159. https://doi.org/10.1039/B5RP90020D

Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education, 25*(11), 1353–1368. https://doi.org/10.1080/0950069032000070306

Wu, H.-K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education, 88*(3), 465–492. https://doi.org/10.1002/sce.10126

BAB 6

AI untuk Praktikum Kimia dan Virtual Laboratory

6.1 Karakteristik Praktikum Kimia dalam Pembelajaran Sains

Praktikum kimia merupakan salah satu komponen paling penting dalam pembelajaran sains karena kimia bukan hanya ilmu yang dipelajari melalui teks, rumus, dan persamaan, melainkan ilmu eksperimental yang dibangun melalui pengamatan, pengukuran, pengujian, interpretasi data, dan penarikan kesimpulan berbasis bukti. Melalui praktikum, peserta didik belajar bahwa pengetahuan kimia tidak muncul dari hafalan semata, tetapi dari proses ilmiah yang melibatkan pertanyaan, hipotesis, rancangan percobaan, pengendalian variabel, pengumpulan data, analisis, serta refleksi terhadap ketidakpastian dan keterbatasan hasil.

Dalam pembelajaran kimia, praktikum memiliki kedudukan strategis karena banyak konsep kimia bersifat abstrak dan tidak dapat diamati secara langsung. Atom, ion, molekul, ikatan kimia, gaya antarmolekul, transfer elektron, kesetimbangan, laju reaksi, dan perubahan energi tidak tampak secara langsung oleh mata. Yang dapat diamati siswa adalah fenomena makroskopik seperti perubahan warna, terbentuknya endapan, munculnya gelembung gas, perubahan suhu, perubahan pH, nyala lampu pada uji elektrolit, atau perbedaan waktu reaksi. Praktikum membantu siswa menghubungkan fenomena makroskopik tersebut dengan penjelasan submikroskopik dan simbolik.

Karakteristik praktikum kimia berbeda dari sekadar demonstrasi atau aktivitas mengikuti resep. Praktikum yang baik harus mengaktifkan proses berpikir ilmiah. Siswa tidak hanya melakukan langkah-langkah prosedural, tetapi memahami mengapa langkah itu dilakukan, variabel apa yang dikendalikan, data apa yang dikumpulkan, bagaimana data ditafsirkan, dan kesimpulan apa yang dapat dibuat secara sah. Praktikum kimia yang bermakna juga menuntut keterampilan keselamatan kerja, ketelitian, kejujuran data, dan kemampuan mengomunikasikan hasil secara ilmiah.

Dalam konteks perkembangan AI, pemahaman terhadap karakteristik praktikum kimia menjadi sangat penting. AI dapat membantu merancang, menyimulasikan, menginterpretasikan, dan mengevaluasi praktikum, tetapi AI tidak boleh mengaburkan hakikat praktikum sebagai pengalaman ilmiah yang berbasis bukti. Virtual laboratory dan simulasi dapat memperkaya pembelajaran, terutama ketika alat dan bahan terbatas atau ketika percobaan berisiko tinggi. Namun, praktikum nyata tetap memiliki nilai pedagogis yang khas karena melibatkan pengalaman sensorik, keterampilan manual, ketidakpastian data, interaksi alat-bahan, serta tanggung jawab keselamatan yang tidak sepenuhnya tergantikan oleh simulasi.

6.1.1 Praktikum Kimia sebagai Aktivitas Ilmiah Berbasis Bukti

Praktikum kimia pada hakikatnya merupakan aktivitas ilmiah berbasis bukti. Siswa diajak mengamati fenomena, mencatat data, menganalisis pola, dan menarik kesimpulan berdasarkan bukti yang diperoleh. Karakter ini membedakan praktikum dari kegiatan demonstratif yang hanya bertujuan “melihat sesuatu yang menarik”. Praktikum bukan sekadar memperlihatkan bahwa suatu

larutan berubah warna atau menghasilkan endapan, tetapi mengajak siswa memahami apa makna perubahan tersebut dalam kerangka konsep kimia.

Sebagai contoh, dalam praktikum uji elektrolit, siswa tidak hanya melihat lampu menyala atau tidak menyala. Mereka harus menghubungkan data nyala lampu dengan keberadaan ion bebas dalam larutan. Larutan NaCl dapat menghantarkan listrik karena mengandung ion Na^+ dan Cl^- yang bergerak bebas. Larutan gula tidak menghantarkan listrik karena molekul gula larut sebagai molekul netral dan tidak menghasilkan ion bebas yang cukup. Dengan demikian, praktikum membantu siswa membangun hubungan antara data empiris dan model partikel.

Praktikum berbasis bukti juga mengajarkan bahwa kesimpulan harus sesuai dengan data. Jika data tidak mendukung klaim tertentu, siswa tidak boleh membuat kesimpulan berlebihan. Misalnya, pH air yang mendekati netral tidak otomatis membuktikan bahwa air aman diminum, karena kualitas air juga dipengaruhi oleh mikroorganisme, logam berat, senyawa organik, dan kontaminan lain. Praktikum kimia harus membiasakan siswa menyimpulkan secara hati-hati sesuai batas data.

Dalam pembelajaran berbantuan AI, prinsip berbasis bukti ini tetap harus dijaga. AI dapat membantu menyusun pertanyaan analisis, membuat tabel data, atau memberi contoh interpretasi, tetapi data praktikum tidak boleh dibuat-buat oleh AI. Jika siswa melakukan percobaan, data harus berasal dari pengamatan nyata. AI dapat membantu menganalisis data, tetapi tidak boleh menggantikan kejujuran ilmiah dalam pencatatan data.

6.1.2 Praktikum Kimia sebagai Penghubung Tiga Level Representasi

Salah satu karakteristik khas praktikum kimia adalah kemampuannya menghubungkan tiga level representasi kimia: makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Level makroskopik tampak dalam fenomena yang dapat diamati. Level submikroskopik menjelaskan fenomena melalui partikel seperti atom, ion, molekul, dan elektron. Level simbolik menyatakan fenomena dalam bentuk rumus, persamaan reaksi, grafik, tabel, atau perhitungan.

Contoh paling jelas adalah reaksi pengendapan. Secara makroskopik, siswa melihat dua larutan bening menghasilkan endapan putih. Secara submikroskopik, ion Ag^+ dan Cl^- bergabung membentuk AgCl(s), sedangkan ion Na^+ dan NO_3^- tetap berada dalam larutan sebagai ion penonton. Secara simbolik, reaksi dapat ditulis sebagai persamaan molekul, persamaan ion lengkap, dan persamaan ion bersih:

$$AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \rightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$$

$$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$$

Jika praktikum hanya berhenti pada pengamatan endapan, siswa belum tentu memahami konsep ionik yang mendasarinya. Sebaliknya, jika siswa hanya menulis persamaan tanpa melihat fenomena, mereka dapat memanipulasi simbol tanpa pemahaman empiris. Praktikum yang baik harus menghubungkan keduanya.

AI dapat membantu memperkuat hubungan tiga level ini dengan membuat diagram partikel, animasi konseptual, pertanyaan penghubung, dan tabel representasi. Guru dapat menggunakan AI untuk menyusun bagian LKPD yang meminta siswa menulis: “Apa yang diamati?”, “Apa yang terjadi pada tingkat partikel?”, dan “Bagaimana persamaan reaksinya?” Dengan cara ini, praktikum menjadi sarana pengembangan kompetensi representasional, bukan hanya kegiatan laboratorium prosedural.

6.1.3 Praktikum sebagai Sarana Mengembangkan Keterampilan Proses Sains

Praktikum kimia berfungsi mengembangkan keterampilan proses sains. Keterampilan ini mencakup mengamati, mengukur, mengklasifikasi, memprediksi, mengidentifikasi variabel, merumuskan hipotesis, merancang percobaan, mengumpulkan data, membuat grafik, menafsirkan data, menyimpulkan, dan mengomunikasikan hasil. Keterampilan proses sains penting karena membentuk cara berpikir ilmiah.

Dalam praktikum laju reaksi, misalnya, siswa dapat belajar menentukan variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Jika yang diuji adalah pengaruh suhu terhadap laju reaksi, maka suhu menjadi variabel bebas, waktu reaksi atau laju reaksi menjadi variabel terikat, sedangkan konsentrasi, volume, jenis pereaksi, ukuran wadah, dan cara pengadukan harus dikontrol. Jika siswa mengubah suhu sekaligus mengubah konsentrasi, maka hasil percobaan menjadi sulit ditafsirkan.

Keterampilan proses sains juga mengajarkan bahwa data praktikum dapat mengandung variasi. Hasil percobaan tidak selalu sempurna. Ada kesalahan pengukuran, keterbatasan alat, keterlambatan pencatatan waktu, kontaminasi alat, perubahan suhu ruangan, atau kesalahan pembacaan skala. Praktikum membantu siswa memahami bahwa sains tidak hanya menghasilkan jawaban final, tetapi juga melibatkan ketidakpastian dan evaluasi kualitas data.

AI dapat membantu menyusun rubrik keterampilan proses sains, lembar observasi, dan pertanyaan refleksi. Namun, keterampilan praktikum nyata seperti membaca meniskus, menggunakan pipet, menimbang bahan, mengatur alat uji elektrolit, atau menjaga keselamatan tidak dapat digantikan sepenuhnya oleh AI. AI dapat mendukung, tetapi keterampilan manual dan prosedural tetap perlu dilatih secara langsung.

6.1.4 Praktikum Kimia sebagai Pembelajaran Berbasis Inkuiri

Praktikum kimia idealnya tidak hanya berupa aktivitas verifikasi, tetapi juga dapat dikembangkan menjadi pembelajaran berbasis inkuiri. Dalam praktikum verifikasi, siswa mengikuti prosedur untuk membuktikan konsep yang sudah dijelaskan guru. Dalam praktikum inkuiri, siswa lebih aktif merumuskan pertanyaan, membuat prediksi, menentukan variabel, menganalisis data, dan menyusun kesimpulan. Tingkat inkuiri dapat bervariasi dari inkuiri terbimbing sampai inkuiri terbuka.

Pada inkuiri terbimbing, guru masih menyediakan masalah, alat-bahan, dan prosedur umum, tetapi siswa diminta memprediksi hasil, mengidentifikasi variabel, atau menjelaskan data. Pada inkuiri terbuka, siswa dapat merancang sendiri prosedur untuk menjawab pertanyaan penelitian

sederhana, tentu dengan batas keselamatan yang ketat. Dalam pembelajaran kimia sekolah, inkuiri terbimbing sering lebih realistis karena mempertimbangkan keselamatan, waktu, dan kesiapan siswa.

AI dapat membantu guru mengubah praktikum resep menjadi praktikum inkuiri. Misalnya, prosedur "campurkan larutan A dan B, amati hasilnya" dapat dikembangkan menjadi pertanyaan: "Larutan mana yang akan menghasilkan endapan jika dicampurkan? Bagaimana Anda membuktikannya? Ion apa yang berperan dalam pembentukan endapan?" AI dapat membantu menyusun skenario masalah, pertanyaan prediksi, tabel data, dan pertanyaan analisis.

Namun, penggunaan AI dalam praktikum inkuiri perlu dijaga agar tidak membuat siswa hanya menerima jawaban jadi. Jika siswa bertanya kepada AI sebelum melakukan percobaan, AI dapat memberikan hasil prediksi. Hal ini tidak selalu buruk, tetapi guru harus mengarahkan siswa untuk menggunakan prediksi sebagai hipotesis yang diuji, bukan sebagai pengganti eksperimen.

6.1.5 Praktikum sebagai Pengalaman Sensorik dan Motorik

Praktikum nyata memiliki karakter sensorik dan motorik yang tidak sepenuhnya dapat digantikan oleh simulasi. Siswa melihat perubahan warna, mencium bau dengan prosedur aman jika diizinkan, merasakan perubahan suhu secara tidak langsung melalui alat, mendengar suara gelembung atau reaksi tertentu, menyentuh alat laboratorium, membaca skala, menuang larutan, merangkai alat, dan mengamati perubahan fisik. Pengalaman ini membangun hubungan konkret antara konsep dan realitas material.

Keterampilan motorik juga penting. Siswa perlu belajar menggunakan alat ukur, memegang tabung reaksi, membaca gelas ukur, menggunakan pipet tetes, menimbang bahan, memanaskan dengan aman, menyaring endapan, atau mencatat data secara sistematis. Keterampilan ini tidak hanya teknis, tetapi juga membentuk sikap hati-hati, teliti, dan bertanggung jawab.

Virtual laboratory dapat membantu mempersiapkan siswa sebelum praktikum nyata. Siswa dapat mengenal alat, memahami langkah kerja, memprediksi hasil, dan mengurangi kesalahan awal. Namun, virtual laboratory tidak memberikan pengalaman penuh tentang ketidaksempurnaan dunia nyata. Dalam simulasi, alat selalu bersih, volume selalu tepat, waktu selalu ideal, dan risiko keselamatan dapat dibuat terkendali. Dalam laboratorium nyata, siswa belajar bahwa kerja ilmiah memerlukan disiplin dan kehati-hatian.

Dengan demikian, praktikum nyata dan virtual laboratory sebaiknya diposisikan sebagai saling melengkapi. AI dan virtual laboratory dapat digunakan untuk pra-laboratorium, eksplorasi konsep, simulasi risiko, atau penguatan pasca-laboratorium, sedangkan praktikum nyata tetap penting untuk keterampilan eksperimental dan pengalaman empiris.

6.1.6 Praktikum sebagai Sarana Pembentukan Sikap Ilmiah

Praktikum kimia juga berfungsi membentuk sikap ilmiah. Sikap ilmiah mencakup rasa ingin tahu, objektivitas, ketelitian, kejujuran data, keterbukaan terhadap bukti, kesediaan merevisi pendapat, tanggung jawab, kerja sama, dan kesadaran keselamatan. Dalam praktikum, siswa belajar bahwa

hasil harus dicatat apa adanya, bukan disesuaikan dengan harapan. Jika data berbeda dari teori, siswa harus mencari kemungkinan penyebab, bukan memanipulasi data.

AI menghadirkan tantangan baru dalam sikap ilmiah. Siswa dapat tergoda menggunakan AI untuk membuat data praktikum fiktif atau menyusun laporan tanpa memahami hasil eksperimen. Karena itu, guru perlu menekankan etika praktikum berbantuan AI. AI boleh digunakan untuk membantu memahami konsep, menyusun format laporan, atau menganalisis data yang benar-benar dikumpulkan. Namun, AI tidak boleh digunakan untuk memalsukan data, mengganti pengamatan, atau membuat kesimpulan tanpa bukti.

Praktikum harus mengajarkan bahwa data yang tidak sempurna tetap bernilai jika dicatat jujur dan dianalisis secara kritis. Dalam sains, kejujuran data lebih penting daripada hasil yang "indah". Guru dapat memasukkan bagian refleksi dalam laporan: "Apakah hasil Anda sesuai prediksi?", "Apa kemungkinan sumber kesalahan?", "Bagaimana Anda memperbaiki percobaan jika diulang?", dan "Bagaimana AI digunakan secara etis dalam analisis?"

6.1.7 Praktikum Kimia dan Keselamatan Laboratorium

Keselamatan merupakan karakteristik yang tidak dapat dipisahkan dari praktikum kimia. Setiap praktikum harus dirancang dengan mempertimbangkan bahaya bahan kimia, risiko alat, potensi reaksi, konsentrasi larutan, pemanasan, listrik, tekanan, gas, tumpahan, limbah, dan kesiapan siswa. Praktikum yang menarik tetapi tidak aman tidak layak digunakan.

Keselamatan laboratorium mencakup beberapa aspek. Pertama, pemilihan bahan harus sesuai jenjang. Untuk siswa sekolah, gunakan bahan yang relatif aman dan konsentrasi rendah. Kedua, prosedur harus jelas dan tidak menimbulkan risiko pencampuran berbahaya. Ketiga, alat pelindung diri perlu disesuaikan dengan jenis percobaan. Keempat, siswa harus memahami larangan dasar seperti tidak mencicipi bahan, tidak menghirup langsung uap bahan, tidak bermain dengan alat, dan tidak membuang limbah sembarangan. Kelima, guru harus menyiapkan prosedur darurat.

AI dapat membantu membuat daftar risiko awal, tetapi guru harus memvalidasi dengan sumber keselamatan yang tepercaya seperti SDS, panduan laboratorium, dan kebijakan institusi. AI tidak boleh menjadi satu-satunya rujukan keselamatan. Jika AI menyarankan eksperimen yang berisiko, guru harus menolak atau menggantinya dengan simulasi, demonstrasi guru, atau data latihan.

Keselamatan juga menjadi alasan mengapa virtual laboratory penting. Percobaan yang terlalu mahal, berbahaya, atau sulit dilakukan dapat disimulasikan terlebih dahulu. Namun, simulasi risiko tidak boleh membuat siswa meremehkan keselamatan laboratorium nyata. Justru simulasi dapat digunakan untuk melatih pengambilan keputusan keselamatan sebelum bekerja di laboratorium.

6.1.8 Praktikum sebagai Sarana Pembelajaran Kolaboratif

Praktikum kimia sering dilakukan secara berkelompok. Kerja kelompok dalam praktikum bukan hanya pembagian tugas teknis, tetapi juga latihan komunikasi ilmiah. Siswa belajar mendiskusikan prediksi, membagi peran, memeriksa prosedur, mencatat data bersama, membandingkan

pengamatan, menyusun kesimpulan, dan mempresentasikan hasil. Pembelajaran kolaboratif seperti ini penting untuk mengembangkan keterampilan abad ke-21.

Namun, kerja kelompok juga memiliki tantangan. Ada siswa yang dominan, ada yang pasif, ada yang hanya menyalin data, atau ada yang tidak memahami konsep karena hanya melakukan tugas teknis. Oleh karena itu, praktikum perlu dirancang agar setiap anggota memiliki peran dan tanggung jawab. Misalnya, satu siswa bertugas sebagai pengamat, satu sebagai pencatat data, satu sebagai pengendali alat, dan satu sebagai pengawas keselamatan. Peran dapat berganti pada praktikum berikutnya.

AI dapat membantu menyusun pembagian peran dan rubrik kerja kelompok. Guru dapat meminta AI membuat format penilaian diri dan penilaian teman sejawat. Namun, guru tetap perlu mengamati dinamika kelompok secara langsung. AI tidak dapat sepenuhnya menilai interaksi sosial nyata di laboratorium.

Kolaborasi dalam praktikum juga dapat diperkuat melalui diskusi pasca-praktikum. Kelompok yang memperoleh hasil berbeda dapat membandingkan prosedur, data, dan sumber kesalahan. Aktivitas ini mengajarkan bahwa perbedaan data bukan selalu kegagalan, tetapi dapat menjadi sumber belajar ilmiah.

6.1.9 Praktikum Kimia dan Literasi Data

Praktikum kimia menghasilkan data. Data dapat berupa angka, warna, waktu, suhu, pH, massa, volume, konduktivitas, absorbansi, atau pengamatan kualitatif. Literasi data menjadi bagian penting dari praktikum karena siswa harus mampu mencatat, mengorganisasi, memvisualisasikan, dan menafsirkan data. Tanpa literasi data, praktikum hanya menjadi kegiatan melihat fenomena.

AI dapat membantu dalam literasi data praktikum. Misalnya, AI dapat membantu siswa membuat tabel rapi, menyarankan jenis grafik, menjelaskan pola data, atau memberi pertanyaan analisis. Namun, siswa harus tetap memahami data, bukan hanya menyerahkan interpretasi kepada AI. Guru perlu meminta siswa menjelaskan dengan kata-kata sendiri bagaimana data mendukung kesimpulan.

Dalam praktikum laju reaksi, siswa dapat membuat grafik suhu terhadap waktu reaksi atau konsentrasi terhadap laju reaksi. Dalam praktikum titrasi, siswa dapat mencatat volume titran dan menghitung konsentrasi. Dalam praktikum pH, siswa dapat membandingkan pH beberapa larutan dan mengklasifikasikan asam-basa. Setiap data perlu ditafsirkan secara konseptual.

AI dapat membantu membuat pertanyaan seperti:

1. Pola apa yang tampak pada data?
2. Data mana yang mendukung hipotesis?
3. Apakah ada data yang menyimpang?
4. Apa kemungkinan sumber kesalahan?
5. Apakah kesimpulan sudah sesuai data?
6. Apakah diperlukan percobaan ulang?

Pertanyaan ini membantu siswa belajar bahwa data bukan sekadar angka, tetapi dasar penalaran ilmiah.

6.1.10 Praktikum Kimia sebagai Konteks Pembelajaran Bermakna

Praktikum dapat membuat pembelajaran kimia lebih bermakna karena siswa melihat hubungan antara konsep dan fenomena nyata. Konsep yang abstrak menjadi lebih dekat ketika siswa mengamati sendiri perubahan kimia. Namun, makna praktikum tidak muncul otomatis. Jika praktikum dilakukan tanpa refleksi, siswa dapat hanya mengingat "warna berubah" atau "ada gelembung" tanpa memahami konsep.

Agar bermakna, praktikum perlu memiliki tahapan pra-laboratorium, kegiatan laboratorium, dan pasca-laboratorium. Pada tahap pra-laboratorium, siswa memahami tujuan, konsep dasar, prosedur, risiko, dan prediksi. Pada tahap laboratorium, siswa melakukan pengamatan dan mengumpulkan data. Pada tahap pasca-laboratorium, siswa menganalisis data, menghubungkan dengan konsep, menulis kesimpulan, dan merefleksikan hasil.

AI dapat membantu setiap tahap tersebut. Pada pra-laboratorium, AI dapat membuat simulasi, kuis kesiapan, atau penjelasan alat. Pada tahap laboratorium, AI dapat membantu menyediakan lembar observasi atau panduan pencatatan data. Pada pasca-laboratorium, AI dapat membantu menyusun pertanyaan analisis, umpan balik, dan refleksi. Namun, integrasi AI harus tetap mengutamakan pengalaman belajar siswa, bukan mengambil alih proses berpikir mereka.

6.1.11 Praktikum Nyata, Simulasi, dan Virtual Laboratory

Dalam pembelajaran kimia modern, praktikum nyata, simulasi, dan virtual laboratory dapat saling melengkapi. Praktikum nyata memberikan pengalaman langsung dengan alat dan bahan. Simulasi membantu siswa memahami konsep yang tidak tampak, seperti gerak partikel, ionisasi, tumbukan molekul, atau perubahan energi. Virtual laboratory memungkinkan siswa melakukan eksplorasi prosedural dalam lingkungan aman dan terkendali.

Virtual laboratory sangat berguna dalam beberapa kondisi. Pertama, ketika alat dan bahan terbatas. Kedua, ketika percobaan terlalu berbahaya. Ketiga, ketika fenomena terlalu cepat atau terlalu kecil untuk diamati langsung. Keempat, ketika siswa perlu latihan sebelum masuk laboratorium nyata. Kelima, ketika pembelajaran dilakukan jarak jauh. Keenam, ketika guru ingin menampilkan variasi percobaan yang sulit dilakukan di sekolah.

Namun, virtual laboratory memiliki keterbatasan. Simulasi sering menyederhanakan variabel, menghilangkan ketidakpastian data, dan tidak melatih keterampilan manual. Oleh karena itu, virtual laboratory tidak boleh dianggap selalu menggantikan praktikum nyata. Penggunaan yang lebih tepat adalah sebagai pelengkap: sebelum praktikum nyata untuk persiapan, selama pembelajaran untuk visualisasi konsep, atau setelah praktikum untuk analisis dan refleksi.

AI dapat memperkuat virtual laboratory dengan memberikan panduan adaptif, umpan balik, pertanyaan reflektif, dan skenario percobaan. Namun, guru tetap perlu memastikan bahwa simulasi sesuai konsep dan tidak membangun pemahaman yang terlalu ideal.

6.1.12 Karakteristik Praktikum Kimia yang Baik

Praktikum kimia yang baik memiliki beberapa karakteristik. Pertama, **selaras dengan tujuan pembelajaran**. Praktikum harus mengukur atau membangun konsep yang memang ingin dicapai. Kedua, **aman**. Semua alat, bahan, prosedur, dan limbah harus sesuai standar keselamatan. Ketiga, **berbasis bukti**. Siswa harus mengumpulkan dan menganalisis data. Keempat, **mengaktifkan berpikir ilmiah**. Praktikum harus memuat prediksi, variabel, analisis, dan kesimpulan.

Kelima, **menghubungkan tiga level representasi**. Praktikum harus mengaitkan fenomena makroskopik dengan penjelasan partikel dan simbolik. Keenam, **memiliki prosedur jelas tetapi tidak mematikan nalar**. Prosedur harus aman dan terarah, tetapi tetap memberi ruang prediksi dan analisis. Ketujuh, **mengembangkan keterampilan proses sains**. Siswa harus dilatih mengamati, mengukur, mencatat, dan menyimpulkan. Kedelapan, **mendorong refleksi**. Siswa harus mengevaluasi hasil, sumber kesalahan, dan keterbatasan data.

Kesembilan, **memperhatikan konteks siswa dan fasilitas**. Praktikum harus realistis dilakukan. Kesepuluh, **memiliki asesmen yang sesuai**. Penilaian tidak hanya pada laporan akhir, tetapi juga pada proses, keselamatan, data, analisis, dan kerja sama.

AI dapat membantu merancang semua unsur tersebut, tetapi guru tetap harus memastikan kelayakan akhir.

6.1.13 Tantangan Praktikum Kimia di Sekolah dan Perguruan Tinggi

Praktikum kimia menghadapi berbagai tantangan. Di sekolah, tantangan umum meliputi keterbatasan alat dan bahan, jumlah siswa besar, waktu terbatas, laboratorium kurang memadai, risiko keselamatan, kurangnya laboran, dan keterbatasan pengalaman guru dalam merancang inkuiri. Di perguruan tinggi, tantangan dapat mencakup kompleksitas alat, kebutuhan akurasi data, tuntutan analisis lebih tinggi, serta pengembangan keterampilan riset.

Tantangan lain adalah kecenderungan praktikum menjadi kegiatan mengikuti resep. Siswa melakukan prosedur tanpa memahami tujuan dan konsep. Akibatnya, praktikum tidak selalu menghasilkan pemahaman yang lebih baik. Praktikum juga dapat menjadi terlalu fokus pada laporan formal, sementara proses berpikir selama eksperimen kurang diperhatikan.

AI dapat membantu mengatasi sebagian tantangan dengan menyusun LKPD, membuat simulasi awal, menyediakan variasi prosedur sederhana, membantu analisis data, dan membuat rubrik. Namun, AI tidak menyelesaikan persoalan struktural seperti ketersediaan laboratorium, pengawasan keselamatan, dan kebijakan institusi. Guru tetap perlu membuat keputusan realistis.

6.1.14 Peran AI dalam Memperkuat Karakter Praktikum Kimia

AI dapat memperkuat karakter praktikum kimia melalui beberapa cara. Pertama, AI dapat membantu merancang praktikum yang lebih terstruktur dan berbasis tujuan. Kedua, AI dapat membantu membuat pertanyaan inkuiri dan analisis data. Ketiga, AI dapat mendukung persiapan pra-laboratorium melalui kuis, simulasi, atau penjelasan alat. Keempat, AI dapat membantu

membuat alternatif praktikum sederhana. Kelima, AI dapat membantu menyusun rubrik penilaian proses dan laporan.

Keenam, AI dapat membantu siswa menafsirkan data, tetapi guru harus membatasi agar siswa tidak sekadar menerima jawaban. Ketujuh, AI dapat membantu mengembangkan virtual laboratory atau skenario simulasi. Kedelapan, AI dapat membantu membuat refleksi keselamatan dan etika penggunaan data. Kesembilan, AI dapat membantu guru menganalisis pola kesalahan siswa dari laporan praktikum. Kesepuluh, AI dapat membantu membuat umpan balik personal.

Namun, penggunaan AI harus tetap mengikuti prinsip pedagogis dan keselamatan. AI tidak boleh digunakan untuk mengganti pengamatan nyata, memalsukan data, mengabaikan risiko bahan kimia, atau menyederhanakan prosedur berbahaya. AI harus memperkuat proses ilmiah, bukan menggantikannya.

6.1.15 Implikasi bagi Guru dan Calon Guru Kimia

Guru kimia perlu memahami karakteristik praktikum sebelum menggunakan AI untuk merancang praktikum atau virtual laboratory. Jika guru memahami praktikum hanya sebagai prosedur, maka AI hanya akan digunakan untuk membuat langkah kerja. Namun, jika guru memahami praktikum sebagai pengalaman ilmiah berbasis bukti, maka AI dapat digunakan untuk memperkuat prediksi, pengendalian variabel, analisis data, refleksi, keselamatan, dan representasi konsep.

Calon guru kimia perlu dilatih merancang praktikum dengan bantuan AI secara kritis. Mereka dapat diminta membuat LKPD praktikum, kemudian mengevaluasi apakah LKPD tersebut memuat tujuan, variabel, K3, data, analisis, representasi, dan refleksi. Mereka juga perlu dilatih membedakan praktikum nyata, simulasi, dan virtual laboratory serta memahami fungsi masing-masing.

Contoh tugas calon guru:

“Gunakan AI untuk membantu merancang praktikum kimia sederhana. Setelah itu, analisis rancangan tersebut berdasarkan karakteristik praktikum yang baik: tujuan, keselamatan, variabel, data, representasi, keterampilan proses, refleksi, dan asesmen. Revisi rancangan berdasarkan hasil analisis.”

Dengan tugas seperti ini, calon guru belajar bahwa AI bukan pengganti kompetensi pedagogis, melainkan alat bantu untuk memperkuat desain praktikum.

Dengan demikian, praktikum kimia memiliki karakteristik khas sebagai pembelajaran eksperimental berbasis bukti, penghubung tiga level representasi, sarana pengembangan keterampilan proses sains, wahana pembentukan sikap ilmiah, pengalaman sensorik-motorik, latihan keselamatan, pembelajaran kolaboratif, dan konteks literasi data. AI dan virtual laboratory dapat memperkaya praktikum, tetapi tidak boleh menghilangkan hakikat ilmiahnya. Praktikum kimia yang baik harus tetap menempatkan data nyata, keselamatan, penalaran, dan validasi konsep sebagai pusat pembelajaran.

6.2 Peran AI dalam Merancang Praktikum Kimia

AI memiliki peran strategis dalam merancang praktikum kimia karena dapat membantu guru menyusun kegiatan laboratorium secara lebih sistematis, adaptif, dan terdokumentasi. Praktikum kimia yang baik tidak hanya memuat daftar alat, bahan, dan langkah kerja, tetapi juga harus memuat tujuan pembelajaran, dasar konsep, pertanyaan pemantik, prediksi, hipotesis, variabel, prosedur aman, tabel pengamatan, panduan analisis data, pertanyaan reflektif, rubrik penilaian, serta tindak lanjut pembelajaran. Penyusunan seluruh komponen ini membutuhkan waktu dan ketelitian. AI dapat membantu mempercepat proses perancangan awal, terutama dalam menghasilkan alternatif ide, menyusun kerangka LKPD, membuat variasi pertanyaan, dan menyesuaikan praktikum dengan jenjang peserta didik.

Namun, peran AI dalam merancang praktikum kimia harus dipahami secara proporsional. AI bukan penentu akhir kelayakan praktikum. AI tidak mengetahui secara langsung kondisi laboratorium, kualitas alat, stok bahan, jumlah siswa, kesiapan laboran, kebijakan sekolah, ventilasi ruang, ketersediaan alat pelindung diri, prosedur limbah, atau tingkat kedisiplinan peserta didik. Karena itu, AI harus diposisikan sebagai **asisten perancang**, sedangkan guru tetap menjadi **penanggung jawab ilmiah, pedagogis, dan keselamatan**.

Dalam praktiknya, AI dapat membantu guru pada beberapa tahap. Pertama, AI dapat membantu mengubah tujuan pembelajaran menjadi rancangan praktikum. Kedua, AI dapat menyusun beberapa alternatif eksperimen untuk satu konsep. Ketiga, AI dapat membantu memilih model praktikum, misalnya verifikasi, inkuiri terbimbing, STEM, proyek, atau virtual laboratory. Keempat, AI dapat membantu menyusun prosedur awal. Kelima, AI dapat membantu membuat tabel pengamatan dan analisis data. Keenam, AI dapat membantu menyusun asesmen praktikum. Ketujuh, AI dapat membantu membuat alternatif alat-bahan sederhana jika fasilitas terbatas. Kedelapan, AI dapat membantu membuat skenario simulasi sebelum praktikum nyata. Semua hasil tersebut tetap harus diperiksa, direvisi, dan disesuaikan oleh guru.

6.2.1 AI sebagai Asisten Desain Praktikum Berbasis Tujuan

Perancangan praktikum harus dimulai dari tujuan pembelajaran. Guru perlu bertanya: konsep apa yang ingin dibangun, keterampilan apa yang ingin dilatih, data apa yang harus dikumpulkan, dan bentuk kesimpulan apa yang diharapkan. Tanpa tujuan yang jelas, praktikum mudah menjadi kegiatan prosedural yang menarik tetapi tidak menghasilkan pemahaman mendalam.

AI dapat membantu menerjemahkan tujuan pembelajaran menjadi rancangan praktikum. Misalnya, jika tujuan pembelajaran adalah “siswa mampu menjelaskan pengaruh suhu terhadap laju reaksi berdasarkan teori tumbukan”, maka AI dapat membantu menyusun praktikum yang mengubah suhu sebagai variabel bebas, mengukur waktu reaksi sebagai variabel terikat, serta menjaga konsentrasi, volume, dan jenis pereaksi sebagai variabel kontrol.

Contoh prompt:

“Bertindaklah sebagai guru kimia SMA dan perancang praktikum. Rancang praktikum inkuiri terbimbing untuk tujuan pembelajaran: siswa mampu menjelaskan pengaruh suhu terhadap laju

reaksi berdasarkan teori tumbukan. Praktikum harus memuat tujuan, pertanyaan pemantik, hipotesis, variabel, alat-bahan aman, K3, prosedur, tabel pengamatan, panduan membuat grafik, pertanyaan analisis, kesimpulan berbasis data, dan rubrik."

Dengan prompt seperti itu, AI dapat menghasilkan rancangan awal yang lebih lengkap. Namun, guru harus memeriksa apakah bahan yang disarankan aman, apakah prosedur realistis, apakah data dapat dikumpulkan dalam waktu kelas, dan apakah pertanyaan analisis benar-benar mengarah pada teori tumbukan. Jika AI menyarankan bahan yang terlalu berisiko, guru harus mengganti bahan atau menggunakan simulasi.

Peran AI di sini bukan sekadar membuat prosedur, tetapi membantu guru menjaga keselarasan antara tujuan, aktivitas, data, analisis, dan asesmen. Keselarasan ini penting karena praktikum yang baik harus memiliki hubungan kuat antara apa yang dilakukan siswa dan apa yang seharusnya mereka pelajari.

6.2.2 AI untuk Mengembangkan Alternatif Praktikum pada Satu Konsep

Satu konsep kimia dapat diajarkan melalui beberapa jenis praktikum. AI dapat membantu guru menghasilkan berbagai alternatif, lalu guru memilih yang paling sesuai dengan kondisi kelas. Misalnya, konsep asam-basa dapat dipelajari melalui indikator alami, pengukuran pH, titrasi, netralisasi, larutan penyangga, atau studi perubahan warna. Konsep laju reaksi dapat dipelajari melalui pengaruh suhu, konsentrasi, luas permukaan, atau katalis. Konsep elektrolit dapat dipelajari melalui uji daya hantar listrik, simulasi ionisasi, atau analisis data konduktivitas.

Contoh prompt:

"Berikan lima alternatif praktikum aman untuk mengajarkan konsep larutan elektrolit dan nonelektrolit pada siswa SMA kelas X. Untuk setiap alternatif, tuliskan tujuan, alat-bahan, tingkat risiko, data yang diperoleh, konsep yang ditekankan, kelebihan, keterbatasan, dan kemungkinan miskonsepsi."

Hasil AI dapat membantu guru membandingkan pilihan praktikum. Misalnya, uji elektrolit dengan alat sederhana dapat memberikan pengalaman nyata, tetapi membutuhkan rangkaian listrik yang aman. Simulasi virtual dapat membantu menjelaskan ion pada level partikel, tetapi tidak melatih keterampilan merangkai alat. Analisis data konduktivitas dapat mengembangkan literasi data, tetapi kurang memberi pengalaman sensorik. Guru dapat menggabungkan beberapa pendekatan: simulasi pra-lab, praktikum nyata, lalu analisis data pasca-lab.

AI juga dapat membantu memilih praktikum berdasarkan keterbatasan. Misalnya:

"Rancang alternatif praktikum pengaruh konsentrasi terhadap laju reaksi untuk sekolah dengan alat terbatas, bahan rumah tangga yang aman, durasi 45 menit, dan siswa kelas XI."

Prompt semacam ini membuat AI lebih relevan. Namun, guru tetap harus menilai keamanan dan kelayakan bahan.

6.2.3 AI untuk Menentukan Model Praktikum yang Tepat

Tidak semua praktikum harus berbentuk inkuiri terbuka. Guru perlu memilih model praktikum sesuai tujuan, jenjang, waktu, risiko, dan kesiapan siswa. AI dapat membantu menyarankan model praktikum.

Beberapa model praktikum yang umum digunakan antara lain:

Model Praktikum	Karakteristik	Cocok untuk
Verifikasi	Membuktikan konsep yang sudah dipelajari	Konsep dasar, siswa pemula
Inkuiri terbimbing	Guru memberi masalah dan batas prosedur; siswa menganalisis	Penguatan konsep dan keterampilan proses
Inkuiri terbuka	Siswa merancang prosedur sendiri	Siswa lanjut dan proyek riset kecil
Demonstrasi	Guru melakukan percobaan, siswa mengamati	Percobaan berisiko atau alat terbatas
Virtual laboratory	Eksperimen dalam lingkungan digital	Pra-lab, konsep abstrak, percobaan mahal/berisiko
STEM/proyek	Menghasilkan produk atau solusi	Pembelajaran berbasis masalah dan rekayasa

AI dapat membantu memetakan model ke tujuan pembelajaran. Contoh prompt:

“Untuk topik reaksi pengendapan, rekomendasikan model praktikum yang paling sesuai untuk siswa SMA kelas XI. Bandingkan verifikasi, inkuiri terbimbing, demonstrasi, dan virtual laboratory. Jelaskan kelebihan, keterbatasan, risiko, dan bentuk asesmen masing-masing.”

Guru kemudian memilih. Jika bahan kimia aman dan alat tersedia, inkuiri terbimbing dapat digunakan. Jika bahan terbatas, demonstrasi atau virtual laboratory dapat menjadi alternatif. Jika tujuan menekankan keterampilan menulis persamaan ion bersih, praktikum nyata dapat dipadukan dengan diagram partikel dan latihan simbolik.

6.2.4 AI untuk Menyusun Rancangan Pra-Laboratorium

Tahap pra-laboratorium sangat penting agar siswa siap melakukan praktikum. Banyak kegagalan praktikum terjadi karena siswa tidak memahami tujuan, prosedur, bahaya, atau cara mencatat data. AI dapat membantu guru membuat kegiatan pra-lab yang ringkas tetapi bermakna.

Kegiatan pra-lab dapat memuat:

1. Apersepsi fenomena.
2. Tujuan praktikum.
3. Pengantar konsep.
4. Pengenalan alat dan bahan.
5. Identifikasi risiko.
6. Prediksi hasil.

7. Perumusan hipotesis.
8. Identifikasi variabel.
9. Kuis kesiapan.
10. Instruksi pencatatan data.

Contoh prompt:

“Buat kegiatan pra-laboratorium untuk praktikum uji elektrolit. Kegiatan harus memuat fenomena pemantik, pertanyaan prediksi, pengantar konsep ion, pengenalan alat uji elektrolit, peringatan keselamatan listrik tegangan rendah, dan kuis kesiapan lima soal.”

AI dapat membantu membuat kuis kesiapan seperti:

1. Apa perbedaan elektrolit dan nonelektrolit?
2. Mengapa alat uji elektrolit harus menggunakan sumber listrik tegangan rendah?
3. Apa yang harus diamati saat praktikum?
4. Apa yang dimaksud variabel kontrol?
5. Mengapa larutan tidak boleh dicicipi?

Kuis pra-lab membantu memastikan siswa tidak masuk laboratorium tanpa pemahaman dasar. AI dapat menyusun draf, tetapi guru perlu menyesuaikan dengan alat yang digunakan.

6.2.5 AI untuk Merancang Pertanyaan Pemantik dan Hipotesis

Praktikum akan lebih bermakna jika diawali dengan pertanyaan pemantik. Pertanyaan pemantik mendorong siswa berpikir sebelum melakukan percobaan. AI dapat membantu membuat pertanyaan yang mengarah pada konsep inti.

Contoh untuk elektrolit:

“Larutan garam dan larutan gula sama-sama tampak bening. Apakah keduanya sama-sama dapat menghantarkan listrik? Apa alasan prediksimu?”

Contoh untuk laju reaksi:

“Mengapa makanan lebih cepat matang pada suhu tinggi? Apakah suhu juga dapat memengaruhi kecepatan reaksi kimia?”

Contoh untuk asam-basa:

“Mengapa indikator alami dapat berubah warna ketika dicampur larutan tertentu?”

AI dapat membantu mengubah pertanyaan pemantik menjadi hipotesis. Misalnya:

“Jika suhu reaksi dinaikkan, maka waktu reaksi akan menjadi lebih singkat karena partikel memiliki energi kinetik lebih besar dan tumbukan efektif lebih sering terjadi.”

Guru perlu memastikan bahwa hipotesis tidak ditulis terlalu "jadi" sehingga siswa hanya menyalin. AI dapat membantu membuat format kalimat, tetapi siswa sebaiknya tetap menyusun hipotesis sendiri berdasarkan diskusi.

Prompt:

"Buat lima pertanyaan pemantik dan format hipotesis untuk praktikum pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Pertanyaan harus mendorong siswa menghubungkan suhu, energi kinetik, tumbukan efektif, dan waktu reaksi."

6.2.6 AI untuk Merancang Identifikasi Variabel

AI dapat membantu guru menyusun bagian identifikasi variabel dalam praktikum. Banyak siswa sulit membedakan variabel bebas, terikat, dan kontrol. Dengan bantuan AI, guru dapat membuat tabel isian dan pertanyaan pemandu.

Contoh prompt:

"Buat bagian LKPD untuk membantu siswa mengidentifikasi variabel dalam praktikum pengaruh luas permukaan terhadap laju reaksi. Sertakan definisi singkat variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, tabel isian, contoh jawaban, dan pertanyaan refleksi."

Hasil yang diharapkan:

Jenis Variabel	Pertanyaan Pemandu	Jawaban
Variabel bebas	Faktor apa yang sengaja diubah?	Luas permukaan zat padat
Variabel terikat	Hasil apa yang diamati atau diukur?	Waktu reaksi/laju reaksi
Variabel kontrol	Faktor apa yang dijaga tetap?	Massa zat, volume larutan, konsentrasi, suhu

AI juga dapat membantu membuat skenario kesalahan:

"Seorang siswa ingin menguji pengaruh luas permukaan, tetapi ia menggunakan massa zat yang berbeda pada tiap percobaan. Apa masalahnya?"

Pertanyaan seperti ini melatih siswa memahami rancangan eksperimen yang adil.

6.2.7 AI untuk Merancang Prosedur Praktikum yang Bertahap

Prosedur praktikum harus jelas, aman, dan logis. AI dapat membantu menyusun langkah kerja, tetapi guru harus memeriksa detail keselamatan. Prosedur yang baik harus menghindari instruksi ambigu. Misalnya, "tambahkan larutan secukupnya" kurang tepat. Lebih baik: "tambahkan 5 mL larutan menggunakan gelas ukur atau pipet ukur."

AI dapat membantu menyusun prosedur dalam format tabel:

Langkah	Kegiatan	Tujuan	Catatan K3

Prompt:

“Buat prosedur praktikum uji elektrolit dalam format tabel. Setiap langkah harus memuat kegiatan, tujuan langkah, dan catatan keselamatan. Gunakan sumber listrik tegangan rendah dan bahan yang aman untuk siswa SMA.”

Format ini membantu siswa memahami mengapa langkah dilakukan, bukan hanya mengikuti instruksi. Namun, guru harus menyesuaikan dengan alat nyata. Jika sekolah menggunakan baterai 9 V, prosedur harus sesuai. Jika menggunakan LED, resistor, dan elektroda karbon, instruksi juga harus disesuaikan.

AI juga dapat membantu membuat prosedur versi ringkas untuk siswa dan versi lengkap untuk guru. Versi guru memuat catatan persiapan, risiko, dan alternatif jika hasil tidak muncul.

6.2.8 AI untuk Memetakan Risiko Keselamatan Praktikum

Salah satu kontribusi AI yang penting adalah membantu membuat daftar risiko awal. Guru dapat meminta AI mengidentifikasi potensi bahaya alat, bahan, prosedur, dan limbah. Namun, hasil AI harus diverifikasi dengan SDS, panduan keselamatan, dan kebijakan laboratorium.

Prompt:

“Buat analisis risiko untuk praktikum titrasi asam-basa siswa SMA menggunakan larutan HCl encer, NaOH encer, indikator fenolftalein, buret, dan erlenmeyer. Tabel harus memuat bahan/alat, potensi bahaya, tingkat risiko, tindakan pencegahan, APD, dan pengelolaan limbah. Gunakan prinsip keselamatan laboratorium sekolah.”

AI dapat membantu membuat tabel risiko. Namun, guru perlu memeriksa konsentrasi bahan. Larutan encer memiliki risiko lebih rendah daripada larutan pekat, tetapi tetap perlu kehati-hatian. Fenolftalein dalam pelarut alkohol juga perlu diperhatikan. Penggunaan buret memerlukan keterampilan dan kehati-hatian agar tidak pecah.

Untuk praktikum yang melibatkan gas, pemanasan, oksidator kuat, pelarut organik mudah terbakar, atau bahan toksik, guru perlu lebih ketat. AI tidak boleh menjadi sumber tunggal. Jika risiko tidak sesuai untuk siswa, praktikum harus diganti dengan demonstrasi, simulasi, atau data sekunder.

6.2.9 AI untuk Menyusun Tabel Pengamatan

Tabel pengamatan membantu siswa mencatat data secara sistematis. AI dapat membantu membuat tabel sesuai jenis praktikum. Tabel yang baik harus memuat variabel, satuan, kolom pengulangan, dan ruang catatan.

Contoh prompt:

“Buat tabel pengamatan untuk praktikum pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Tabel harus memuat suhu, waktu reaksi percobaan 1, waktu reaksi percobaan 2, rata-rata waktu, laju relatif, dan catatan pengamatan.”

Contoh tabel:

Suhu (°C)	Waktu 1 (s)	Waktu 2 (s)	Rata-rata Waktu (s)	Laju Relatif (1/s)	Catatan

Tabel seperti ini membantu siswa mengolah data. Guru dapat menambahkan kolom ketidakpastian atau sumber kesalahan untuk siswa lanjut.

Untuk praktikum kualitatif, tabel bisa berbeda:

Larutan	Nyala Lampu	Gelembung Gas	Klasifikasi	Penjelasan Partikel

AI dapat membantu menyesuaikan tabel dengan tujuan. Guru perlu memastikan tabel tidak terlalu rumit untuk siswa.

6.2.10 AI untuk Merancang Analisis Data Praktikum

Data praktikum harus dianalisis, bukan hanya dikumpulkan. AI dapat membantu guru membuat panduan analisis data. Panduan ini dapat berupa pertanyaan, langkah perhitungan, grafik, atau interpretasi.

Contoh prompt:

“Buat panduan analisis data untuk praktikum laju reaksi. Siswa memperoleh data suhu dan waktu reaksi. Panduan harus menjelaskan cara menghitung laju relatif, membuat grafik suhu terhadap laju relatif, mengidentifikasi pola, dan menjelaskan hasil dengan teori tumbukan.”

Pertanyaan analisis:

1. Bagaimana perubahan waktu reaksi ketika suhu meningkat?
2. Bagaimana perubahan laju relatif?
3. Apakah data mendukung hipotesis?
4. Data mana yang paling menyimpang?
5. Apa kemungkinan sumber kesalahan?
6. Bagaimana teori tumbukan menjelaskan hasil?

AI dapat membantu membuat pertanyaan yang menghubungkan data dengan konsep. Namun, guru harus memastikan bahwa siswa tidak hanya menggunakan AI untuk langsung menulis jawaban. Guru dapat meminta siswa menunjukkan perhitungan, grafik, dan data pendukung.

6.2.11 AI untuk Merancang Pertanyaan Reflektif Pasca-Praktikum

Refleksi pasca-praktikum penting untuk memperkuat pemahaman dan sikap ilmiah. AI dapat membantu membuat pertanyaan reflektif yang mendorong siswa mengevaluasi proses dan hasil.

Contoh prompt:

"Buat pertanyaan reflektif pasca-praktikum uji elektrolit untuk siswa SMA. Pertanyaan harus mencakup pemahaman konsep, kesalahan awal, hubungan data dengan ion, sumber kesalahan, keselamatan, dan penggunaan AI secara etis."

Contoh pertanyaan:

1. Prediksi awal Anda mana yang benar dan mana yang perlu diperbaiki?
2. Data mana yang menunjukkan larutan mengandung ion bebas?
3. Mengapa larutan gula tidak menghantarkan listrik meskipun larut dalam air?
4. Apa sumber kesalahan yang mungkin memengaruhi nyala lampu?
5. Bagaimana Anda memastikan data dicatat secara jujur?
6. Jika menggunakan AI, bagian apa yang dibantu AI dan bagaimana Anda memverifikasinya?

Pertanyaan seperti ini membantu siswa belajar dari proses praktikum, bukan hanya dari hasil akhir.

6.2.12 AI untuk Menyusun Rubrik Penilaian Praktikum

AI dapat membantu membuat rubrik penilaian praktikum. Rubrik praktikum sebaiknya menilai proses dan produk. Aspek yang dapat dinilai meliputi kesiapan pra-lab, keselamatan, penggunaan alat, ketelitian pengukuran, pencatatan data, analisis, kesimpulan, kerja sama, dan refleksi.

Prompt:

"Buat rubrik analitik skala 1–4 untuk menilai praktikum uji elektrolit. Aspek penilaian: kesiapan konsep, K3, penggunaan alat, pencatatan data, klasifikasi larutan, penjelasan ion, kesimpulan berbasis data, kerja sama, dan refleksi. Deskriptor harus operasional."

Rubrik yang baik membantu guru menilai lebih objektif dan memberi umpan balik. Deskriptor harus jelas. Misalnya:

- Skor 4 pada pencatatan data: "mencatat seluruh pengamatan nyala lampu dan gelembung secara lengkap, rapi, dan sesuai fakta."
- Skor 2: "mencatat sebagian data tetapi ada kolom kosong atau deskripsi kurang jelas."
- Skor 1: "data tidak lengkap atau tidak sesuai pengamatan."

AI dapat membuat draf rubrik, tetapi guru perlu menyederhanakan jika terlalu panjang. Untuk kelas besar, rubrik yang terlalu rinci bisa sulit digunakan.

6.2.13 AI untuk Merancang Praktikum Diferensiatif

Kelas memiliki keragaman kemampuan. AI dapat membantu guru merancang praktikum diferensiatif. Diferensiasi dapat dilakukan pada tingkat bimbingan, kompleksitas analisis, jenis pertanyaan, atau bentuk produk akhir.

Misalnya, pada praktikum asam-basa:

- Kelompok dasar: mengamati perubahan warna indikator dan mengklasifikasi asam-basa.
- Kelompok menengah: membandingkan pH dan kekuatan asam-basa secara kualitatif.
- Kelompok lanjut: menganalisis titrasi sederhana atau larutan penyangga.

Prompt:

"Rancang praktikum diferensiatif tentang indikator asam-basa untuk siswa SMA dengan tiga tingkat kemampuan: dasar, menengah, dan lanjut. Semua harus aman, menggunakan alat-bahan sederhana, dan memiliki tujuan, prosedur, tabel data, pertanyaan analisis, serta asesmen berbeda."

Diferensiasi membantu semua siswa belajar sesuai kesiapan. Namun, guru perlu menjaga agar perbedaan tidak menimbulkan stigma. Kelompok dapat dibuat fleksibel dan berbasis kebutuhan belajar, bukan label tetap.

6.2.14 AI untuk Merancang Alternatif Praktikum jika Alat-Bahan Terbatas

Banyak sekolah menghadapi keterbatasan laboratorium. AI dapat membantu menyusun alternatif praktikum dengan alat sederhana, bahan rumah tangga yang relatif aman, atau simulasi virtual. Namun, bahan rumah tangga tetap perlu dinilai risikonya. Tidak semua bahan rumah tangga aman dicampur.

Prompt:

"Berikan alternatif praktikum sederhana untuk menjelaskan konsep asam-basa menggunakan bahan yang relatif aman dan mudah diperoleh. Hindari campuran berbahaya. Sertakan tujuan, alat-bahan, prosedur, K3, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, dan limbah."

Contoh bahan yang sering digunakan adalah indikator alami dari kol ungu atau bunga tertentu, cuka dapur, larutan sabun encer, air jeruk, dan air mineral. Namun, guru tetap harus memastikan tidak ada pencampuran bahan pembersih berbahaya, tidak ada bahan iritan dalam konsentrasi tinggi, dan siswa tidak mencicipi bahan.

Jika alat uji elektrolit tidak tersedia, guru dapat menggunakan simulasi atau demonstrasi dengan rangkaian sederhana yang aman. AI dapat membantu menyusun skenario virtual laboratory atau analisis data sekunder.

6.2.15 AI untuk Merancang Integrasi Virtual Laboratory

Virtual laboratory dapat digunakan sebelum, selama, atau setelah praktikum nyata. AI dapat membantu merancang integrasinya. Pada tahap pra-lab, virtual laboratory dapat memperkenalkan alat dan konsep. Pada tahap pembelajaran inti, virtual lab dapat mensimulasikan fenomena yang tidak mudah diamati. Pada tahap pasca-lab, virtual lab dapat membantu membandingkan data ideal dengan data nyata.

Prompt:

"Rancang integrasi virtual laboratory untuk praktikum laju reaksi. Tahap pra-lab: simulasi pengaruh suhu. Tahap lab nyata: percobaan sederhana. Tahap pasca-lab: perbandingan data simulasi dan data nyata. Sertakan tujuan, aktivitas siswa, pertanyaan analisis, dan refleksi."

Integrasi ini membantu siswa memahami bahwa data nyata dapat berbeda dari simulasi karena faktor alat, ketelitian, dan lingkungan. Ini mengajarkan sifat sains yang lebih realistis.

AI juga dapat membantu membuat panduan penggunaan virtual lab:

1. Apa yang harus diamati?
2. Variabel apa yang diubah?
3. Data apa yang dicatat?
4. Bagaimana hasil simulasi dibandingkan dengan teori?
5. Apa keterbatasan simulasi?

Virtual lab menjadi lebih bermakna jika tidak hanya digunakan untuk klik-klik, tetapi untuk berpikir.

6.2.16 AI untuk Menyusun Skenario Praktikum Berbasis Masalah

Praktikum berbasis masalah membuat siswa memecahkan masalah nyata atau semi-nyata menggunakan konsep kimia. AI dapat membantu membuat skenario masalah.

Contoh prompt:

"Buat skenario praktikum berbasis masalah tentang kualitas air sederhana untuk siswa SMA. Siswa harus menguji pH, kekeruhan sederhana, dan daya hantar relatif jika alat tersedia. Skenario harus aman, tidak mengklaim kelayakan air minum secara medis, dan menekankan batas data. Sertakan LKPD dan pertanyaan analisis."

Skenario seperti ini mengajarkan siswa berpikir kontekstual. Namun, guru harus berhati-hati terhadap klaim. Praktikum sederhana di sekolah tidak cukup untuk menyatakan air aman diminum. AI dapat membantu membuat bahasa yang hati-hati:

"Hasil uji pH hanya menunjukkan tingkat keasaman, bukan seluruh aspek keamanan air."

Praktikum berbasis masalah melatih siswa menyusun kesimpulan sesuai data dan memahami batas metode.

6.2.17 AI untuk Merancang Praktikum Berbasis STEM

Praktikum kimia dapat dikembangkan menjadi proyek STEM, misalnya merancang indikator alami, alat uji elektrolit sederhana, filter air model, baterai sederhana, atau kemasan biodegradable konseptual. AI dapat membantu membuat desain proyek yang mencakup sains, teknologi, rekayasa, dan matematika.

Prompt:

"Rancang proyek STEM kimia untuk siswa SMA: membuat alat uji elektrolit sederhana yang aman. Proyek harus memuat konsep kimia, prinsip rangkaian listrik sederhana, kriteria desain, alat-bahan, K3, prosedur, pengujian beberapa larutan, tabel data, analisis, perbaikan desain, dan rubrik."

Proyek STEM berbeda dari praktikum biasa karena siswa tidak hanya menguji konsep, tetapi juga merancang atau memperbaiki produk. AI dapat membantu menyusun kriteria desain, tetapi guru harus memastikan keselamatan listrik dan bahan. Gunakan sumber listrik tegangan rendah, hindari listrik PLN langsung, dan berikan instruksi pengawasan.

6.2.18 AI untuk Merancang Dokumentasi Praktikum

Dokumentasi praktikum penting untuk pembelajaran dan penilaian. Dokumentasi dapat berupa catatan data, foto alat, grafik, laporan, video pendek, portofolio, atau log praktikum. AI dapat membantu membuat format dokumentasi.

Prompt:

"Buat format laporan praktikum kimia yang ringkas untuk siswa SMA. Format harus memuat judul, tujuan, dasar konsep singkat, variabel, alat-bahan, K3, prosedur ringkas, data, analisis, kesimpulan, sumber kesalahan, refleksi, dan pernyataan kejujuran data."

Pernyataan kejujuran data penting dalam era AI. Contoh:

"Saya menyatakan bahwa data dalam laporan ini berasal dari pengamatan praktikum yang dilakukan kelompok saya. AI, jika digunakan, hanya membantu dalam penyusunan bahasa atau analisis, bukan membuat data fiktif."

Dokumentasi juga dapat memuat log penggunaan AI:

Bagian	Apakah AI Digunakan?	Bentuk Bantuan	Cara Verifikasi

Dengan cara ini, penggunaan AI menjadi transparan dan etis.

6.2.19 Validasi Rancangan Praktikum Berbantuan AI

Setiap rancangan praktikum dari AI harus divalidasi. Validasi mencakup aspek konsep, pedagogi, prosedur, keselamatan, alat-bahan, waktu, limbah, asesmen, dan etika. Guru tidak boleh langsung menggunakan rancangan AI di laboratorium.

Daftar cek validasi:

1. Apakah tujuan praktikum jelas?
2. Apakah konsep kimia benar?
3. Apakah alat dan bahan tersedia?
4. Apakah bahan aman untuk jenjang siswa?
5. Apakah konsentrasi larutan sesuai?
6. Apakah prosedur jelas dan aman?
7. Apakah K3 spesifik?
8. Apakah limbah dikelola?
9. Apakah waktu realistis?
10. Apakah variabel teridentifikasi?
11. Apakah data dapat dikumpulkan?
12. Apakah pertanyaan analisis sesuai tujuan?
13. Apakah asesmen menilai proses dan produk?
14. Apakah ada alternatif jika hasil tidak muncul?
15. Apakah penggunaan AI etis dan transparan?

Prompt validasi:

“Tinjau rancangan praktikum kimia berikut dari aspek tujuan, akurasi konsep, alat-bahan, konsentrasi, prosedur, K3, limbah, waktu, variabel, data, analisis, asesmen, dan potensi miskonsepsi. Berikan revisi konkret.”

AI dapat membantu validasi awal, tetapi validasi akhir tetap pada guru, laboran, dan standar keselamatan institusi.

6.2.20 Prinsip Akhir Peran AI dalam Merancang Praktikum Kimia

Peran AI dalam merancang praktikum kimia dapat diringkas dalam beberapa prinsip. Pertama, AI membantu menghasilkan draf, bukan keputusan final. Kedua, praktikum harus selalu dimulai dari tujuan pembelajaran. Ketiga, keselamatan menjadi prioritas utama. Keempat, prosedur harus divalidasi dengan kondisi nyata laboratorium. Kelima, data praktikum harus berasal dari pengamatan nyata, bukan dibuat oleh AI. Keenam, AI dapat membantu menyusun LKPD, tabel, rubrik, dan pertanyaan analisis. Ketujuh, virtual laboratory dapat memperkaya pembelajaran, tetapi tidak selalu menggantikan praktikum nyata. Kedelapan, guru harus menilai potensi miskonsepsi dari setiap rancangan. Kesembilan, penggunaan AI harus transparan. Kesepuluh, praktikum harus tetap mengembangkan keterampilan ilmiah, bukan hanya menghasilkan laporan rapi.

Dengan demikian, AI dapat menjadi mitra produktif dalam perancangan praktikum kimia. AI membantu guru menghemat waktu, memperkaya variasi, memperjelas struktur, dan menyiapkan perangkat pembelajaran. Namun, tanggung jawab utama tetap berada pada guru. Praktikum kimia menyangkut keselamatan, data, keterampilan, dan integritas ilmiah. Karena itu, rancangan praktikum berbantuan AI harus selalu dikurasi, disunting, diuji, dan divalidasi sebelum digunakan dalam pembelajaran.

6.3 AI untuk Menyusun Prosedur Eksperimen yang Aman dan Edukatif

Prosedur eksperimen merupakan inti operasional dari praktikum kimia. Prosedur menentukan apa yang dilakukan siswa, alat dan bahan apa yang digunakan, urutan kerja yang harus diikuti, data apa yang dikumpulkan, serta tindakan keselamatan apa yang harus diperhatikan. Dalam praktikum kimia, prosedur tidak dapat dianggap sebagai daftar langkah teknis semata. Prosedur adalah rancangan pedagogis dan keselamatan sekaligus. Prosedur yang baik harus membantu siswa memahami konsep, mengembangkan keterampilan proses sains, mengumpulkan data yang bermakna, dan bekerja secara aman.

AI dapat membantu guru menyusun prosedur eksperimen secara lebih cepat dan sistematis. Guru dapat meminta AI membuat langkah kerja, tabel alat-bahan, catatan K3, prediksi hasil, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, dan rubrik penilaian. AI juga dapat membantu menyederhanakan prosedur, menyesuaikan prosedur dengan jenjang siswa, membuat alternatif bahan yang lebih aman, atau mengubah prosedur verifikasi menjadi inkuiri terbimbing. Namun, prosedur eksperimen kimia yang dihasilkan AI harus selalu divalidasi. Dalam laboratorium kimia, kesalahan kecil dalam urutan pencampuran, konsentrasi larutan, pemanasan, pembuangan limbah, atau penggunaan alat dapat menimbulkan risiko keselamatan dan menghasilkan data yang tidak valid.

Karena itu, penyusunan prosedur eksperimen berbantuan AI harus mengikuti prinsip utama: **aman, edukatif, valid, realistis, dan sesuai jenjang**. Aman berarti prosedur tidak menimbulkan risiko yang tidak perlu bagi siswa, guru, laboran, dan lingkungan. Edukatif berarti prosedur tidak hanya menyuruh siswa melakukan langkah mekanis, tetapi membantu mereka memahami konsep dan proses ilmiah. Valid berarti prosedur menghasilkan data yang dapat digunakan untuk menjawab tujuan praktikum. Realistis berarti prosedur dapat dilakukan dengan alat, bahan, waktu, dan kondisi laboratorium yang tersedia. Sesuai jenjang berarti tingkat kompleksitas, bahasa instruksi, dan risiko percobaan cocok dengan usia serta kemampuan peserta didik.

6.3.1 Prosedur Eksperimen sebagai Rancangan Pedagogis dan Keselamatan

Prosedur eksperimen dalam praktikum kimia memiliki dua fungsi utama. Pertama, prosedur berfungsi sebagai panduan kerja agar siswa dapat melakukan percobaan secara terarah. Kedua, prosedur berfungsi sebagai pengendali risiko agar kegiatan laboratorium berlangsung aman. Kedua fungsi ini tidak dapat dipisahkan. Prosedur yang secara pedagogis menarik tetapi tidak aman tidak boleh digunakan. Sebaliknya, prosedur yang aman tetapi tidak mengarah pada pemahaman konsep juga kurang bermakna sebagai pembelajaran.

Prosedur yang edukatif harus menjelaskan hubungan antara langkah kerja dan tujuan praktikum. Misalnya, dalam praktikum pengaruh suhu terhadap laju reaksi, prosedur tidak cukup mengatakan

“panaskan larutan lalu campurkan.” Siswa perlu memahami bahwa suhu adalah variabel bebas, waktu reaksi adalah variabel terikat, sedangkan konsentrasi, volume, jenis pereaksi, dan cara pengadukan harus dijaga tetap. Jika prosedur tidak menekankan pengendalian variabel, siswa dapat memperoleh data yang sulit ditafsirkan.

Prosedur yang aman harus memuat tindakan pencegahan spesifik. Kalimat umum seperti “berhati-hatilah saat praktikum” tidak cukup. Prosedur harus menyatakan tindakan konkret, misalnya gunakan kacamata pelindung jika tersedia, gunakan larutan encer, jangan menyentuh bahan secara langsung, jangan mencicipi larutan, gunakan penjepit saat memegang benda panas, jauhkan bahan mudah terbakar dari sumber panas, gunakan sumber listrik tegangan rendah pada uji elektrolit, dan buang limbah sesuai instruksi guru.

AI dapat membantu membuat prosedur yang lebih lengkap jika prompt guru jelas. Contoh prompt:

“Susun prosedur praktikum kimia yang aman dan edukatif tentang uji elektrolit untuk siswa SMA. Prosedur harus memuat tujuan tiap langkah, alat-bahan, K3 spesifik, variabel, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, dan pengelolaan limbah. Gunakan sumber listrik tegangan rendah dan hindari bahan berbahaya.”

Prompt seperti ini lebih baik daripada sekadar “buat prosedur praktikum elektrolit” karena mengarahkan AI pada aspek keselamatan dan pedagogi.

6.3.2 Prinsip Dasar Prosedur Eksperimen yang Aman

Prosedur eksperimen yang aman harus memenuhi beberapa prinsip dasar. Pertama, bahan yang digunakan harus sesuai dengan jenjang peserta didik. Untuk siswa sekolah, gunakan bahan yang relatif aman, konsentrasi rendah, dan tidak menghasilkan gas berbahaya. Kedua, alat yang digunakan harus sesuai dengan kemampuan siswa. Alat kaca, sumber panas, listrik, atau bahan reaktif perlu pengawasan ketat. Ketiga, prosedur harus menghindari pencampuran bahan yang berisiko tinggi. Keempat, instruksi harus jelas, tidak ambigu, dan tidak memberi ruang interpretasi berbahaya.

Kelima, prosedur harus memuat alat pelindung diri yang sesuai. Keenam, prosedur harus memuat penanganan tumpahan dan limbah. Ketujuh, prosedur harus mempertimbangkan ventilasi dan lingkungan kerja. Kedelapan, prosedur harus realistis dalam durasi pembelajaran. Kesembilan, prosedur harus memiliki alternatif jika alat atau bahan tidak tersedia. Kesepuluh, prosedur harus dapat dihentikan dengan aman jika terjadi kondisi tidak terduga.

AI dapat membantu membuat daftar cek keselamatan. Contoh prompt:

“Buat daftar cek keselamatan untuk meninjau prosedur praktikum kimia sekolah. Daftar cek harus mencakup bahan, konsentrasi, alat, listrik, pemanasan, gas, ventilasi, APD, limbah, tumpahan, dan kelayakan jenjang siswa.”

Daftar cek ini dapat digunakan guru sebelum menyetujui prosedur. Namun, daftar cek AI tetap harus dibandingkan dengan standar keselamatan laboratorium, SDS bahan, dan kebijakan institusi.

Jika suatu bahan memiliki risiko iritan, korosif, toksik, mudah terbakar, oksidator kuat, atau menghasilkan gas berbahaya, guru harus mempertimbangkan penggantian bahan, pengenceran, demonstrasi guru, atau simulasi.

6.3.3 Prinsip Dasar Prosedur Eksperimen yang Edukatif

Prosedur yang edukatif tidak boleh hanya berbentuk resep. Jika siswa hanya mengikuti langkah tanpa berpikir, praktikum menjadi kegiatan teknis yang dangkal. Prosedur yang edukatif harus mendorong siswa memahami tujuan, membuat prediksi, mengidentifikasi variabel, mencatat data, menafsirkan hasil, dan menyusun kesimpulan berbasis bukti.

Prosedur edukatif dapat dirancang dengan menambahkan pertanyaan pemandu di antara langkah-langkah kerja. Misalnya, sebelum mencampurkan larutan, siswa diminta memprediksi apakah endapan akan terbentuk. Sebelum menguji larutan dengan alat elektrolit, siswa diminta memperkirakan apakah lampu akan menyala terang, redup, atau tidak menyala. Sebelum mengubah suhu, siswa diminta menulis hipotesis tentang pengaruh suhu terhadap waktu reaksi.

AI dapat membantu mengubah prosedur resep menjadi prosedur inkuiri terbimbing. Contoh prompt:

“Ubah prosedur praktikum verifikasi berikut menjadi praktikum inkuiri terbimbing. Tambahkan pertanyaan prediksi, identifikasi variabel, tabel data, pertanyaan analisis, dan refleksi. Pertahankan keselamatan dan kesederhanaan prosedur.”

Dengan prompt seperti ini, AI dapat membantu membuat prosedur lebih bermakna. Namun, guru perlu memastikan bahwa pertanyaan tidak terlalu banyak sehingga mengganggu alur praktikum. Pertanyaan harus relevan dengan konsep inti.

Prosedur edukatif juga harus mengarahkan siswa pada representasi kimia. Misalnya, setelah mengamati endapan, siswa diminta menulis persamaan ion bersih. Setelah mengamati daya hantar listrik, siswa diminta menggambar diagram partikel. Setelah mengukur waktu reaksi, siswa diminta membuat grafik. Dengan demikian, praktikum menghubungkan data dengan konsep.

6.3.4 AI untuk Menyusun Format Prosedur Eksperimen

Format prosedur eksperimen perlu rapi dan mudah diikuti. AI dapat membantu menyusun prosedur dalam bentuk tabel agar siswa memahami langkah, tujuan, data, dan K3 secara bersamaan. Format tabel juga membantu guru meninjau prosedur lebih cepat.

Contoh format:

Langkah	Kegiatan	Tujuan Langkah	Data yang Dicatat	Catatan K3

Format ini lebih informatif daripada daftar langkah biasa. Misalnya, pada praktikum uji elektrolit, langkah “celupkan elektroda ke dalam larutan” dapat diberi tujuan “mengamati daya hantar listrik larutan” dan catatan K3 “pastikan tangan kering dan gunakan sumber listrik tegangan rendah.”

AI dapat diminta menyusun prosedur dengan format tersebut:

“Susun prosedur praktikum uji elektrolit dalam tabel dengan kolom langkah, kegiatan, tujuan langkah, data yang dicatat, dan catatan K3. Gunakan bahasa sederhana untuk siswa SMA.”

Format lain dapat berupa:

1. Pra-lab.
2. Persiapan alat dan bahan.
3. Langkah kerja.
4. Pencatatan data.
5. Analisis awal.
6. Pembersihan alat dan limbah.
7. Refleksi pasca-lab.

Untuk siswa pemula, prosedur harus lebih rinci. Untuk siswa lanjut, prosedur dapat memberi ruang rancangan eksperimen. AI dapat membantu membuat dua versi: versi siswa dan versi guru. Versi guru memuat catatan persiapan, risiko, dan solusi jika hasil tidak sesuai.

6.3.5 AI untuk Menyesuaikan Prosedur dengan Jenjang Peserta Didik

Prosedur eksperimen harus disesuaikan dengan jenjang. Praktikum untuk SMP, SMA, dan perguruan tinggi tidak dapat disamakan. Perbedaannya mencakup tingkat risiko, kompleksitas alat, ketelitian pengukuran, kedalaman analisis, dan bahasa instruksi.

Untuk SMP, praktikum sebaiknya menggunakan bahan sederhana, risiko rendah, pengamatan kualitatif, dan prosedur sangat terarah. Untuk SMA, praktikum dapat melibatkan variabel, pengukuran kuantitatif sederhana, grafik, persamaan reaksi, dan analisis konsep. Untuk perguruan tinggi, praktikum dapat melibatkan ketelitian lebih tinggi, instrumen, perhitungan lanjutan, analisis error, dan interpretasi teoritis lebih mendalam.

AI dapat membantu menyesuaikan prosedur. Contoh prompt:

“Sesuaikan prosedur praktikum indikator asam-basa berikut untuk tiga jenjang: SMP, SMA, dan mahasiswa calon guru kimia. Untuk setiap jenjang, tuliskan tujuan, alat-bahan, prosedur, tingkat analisis, K3, dan asesmen.”

Hasil yang diharapkan:

- SMP: mengamati perubahan warna indikator alami pada larutan rumah tangga yang aman.
- SMA: mengklasifikasikan asam-basa, membandingkan pH, dan menjelaskan indikator.
- Perguruan tinggi: menghubungkan perubahan warna dengan struktur indikator, rentang pH, validitas data, dan rancangan pembelajaran.

Guru kemudian memilih versi yang sesuai. Penyesuaian jenjang penting agar praktikum tidak terlalu mudah, terlalu sulit, atau terlalu berisiko.

6.3.6 AI untuk Memilih Alat dan Bahan yang Aman

AI dapat membantu membuat daftar alat dan bahan, tetapi guru harus memvalidasinya. Pemilihan alat dan bahan harus mempertimbangkan keselamatan, ketersediaan, biaya, limbah, dan tujuan pembelajaran. Bahan yang aman secara umum tetap perlu digunakan dengan prosedur yang benar. Bahan rumah tangga tidak otomatis aman dicampur. Misalnya, bahan pembersih tertentu dapat menghasilkan gas berbahaya jika dicampur dengan bahan lain. Oleh karena itu, guru harus sangat berhati-hati.

Prompt yang aman:

"Rancang praktikum asam-basa menggunakan bahan yang relatif aman untuk siswa SMA. Hindari pencampuran bahan pembersih berisiko, hindari bahan korosif pekat, dan sertakan K3 serta pengelolaan limbah."

AI dapat menyarankan bahan seperti indikator alami, cuka dapur, air jeruk, larutan sabun encer, air mineral, atau larutan soda kue encer. Namun, guru tetap harus memastikan tidak ada bahan yang mengandung campuran tidak diketahui atau dapat menimbulkan iritasi.

Dalam praktikum elektrolit, AI dapat menyarankan larutan garam, gula, cuka encer, atau air suling. Guru harus memastikan sumber listrik aman, misalnya baterai tegangan rendah, dan tidak menggunakan listrik PLN langsung. Elektroda harus aman dan tidak mudah bereaksi menghasilkan produk berbahaya pada kondisi praktikum sekolah.

Pemilihan alat dan bahan harus selalu mengikuti prinsip substitusi aman: jika ada bahan yang lebih aman dan tetap mencapai tujuan pembelajaran, pilih bahan yang lebih aman.

6.3.7 AI untuk Mengatur Urutan Langkah Eksperimen

Urutan langkah dalam prosedur kimia sangat penting. Urutan yang salah dapat menghasilkan data yang tidak valid atau meningkatkan risiko. Misalnya, dalam titrasi, buret harus dibilas dengan larutan titran sebelum digunakan, gelembung udara pada ujung buret harus dihilangkan, pembacaan meniskus harus tepat, dan titrasi harus dilakukan perlahan mendekati titik akhir. Dalam uji elektrolit, elektroda harus dibersihkan setiap pergantian larutan agar tidak terjadi kontaminasi. Dalam praktikum laju reaksi, pengukuran waktu harus dimulai pada saat pencampuran yang konsisten.

AI dapat membantu menyusun urutan langkah, tetapi guru perlu memeriksa logikanya. Contoh prompt:

"Periksa urutan langkah praktikum berikut. Identifikasi langkah yang tidak logis, berisiko, atau dapat menyebabkan data tidak valid. Susun ulang prosedur agar aman dan menghasilkan data yang lebih baik."

Urutan prosedur harus mengikuti prinsip:

1. Persiapan alat dan bahan.
2. Pemeriksaan keselamatan.
3. Pengukuran awal.
4. Pelaksanaan percobaan.
5. Pencatatan data.
6. Pengulangan jika diperlukan.
7. Pembersihan alat.
8. Pengelolaan limbah.
9. Analisis data.

Untuk eksperimen kuantitatif, pengulangan sangat penting. AI dapat membantu menyarankan jumlah pengulangan yang realistis, misalnya dua atau tiga kali untuk praktikum sekolah, tetapi guru menyesuaikan dengan waktu.

6.3.8 AI untuk Menyusun Instruksi yang Jelas dan Tidak Ambigu

Instruksi praktikum harus menggunakan bahasa yang jelas. Kalimat ambigu dapat menimbulkan kesalahan. Instruksi seperti "ambil sedikit larutan", "panaskan sebentar", atau "campurkan hingga cukup" perlu diganti dengan instruksi yang lebih spesifik jika memungkinkan. Misalnya, "ambil 5 mL larutan", "panaskan selama 2 menit pada penangas air", atau "aduk perlahan selama 10 detik."

AI dapat membantu menyunting instruksi. Prompt:

"Perbaiki instruksi praktikum berikut agar lebih jelas, terukur, aman, dan mudah dipahami siswa SMA. Hindari kata ambigu seperti sedikit, secukupnya, agak lama, atau hati-hati tanpa penjelasan konkret."

Instruksi yang baik memiliki ciri:

1. Menggunakan kata kerja operasional.
2. Menyebut jumlah atau durasi jika diperlukan.
3. Menyebut alat ukur yang digunakan.
4. Menyebut tindakan keselamatan spesifik.
5. Menghindari istilah teknis yang belum dijelaskan.
6. Menyebut data yang harus dicatat.
7. Menjelaskan kondisi penghentian jika perlu.

Contoh perbaikan:

Kurang jelas:
"Panaskan larutan sampai hangat."

Lebih jelas:
"Letakkan tabung reaksi dalam penangas air hangat sekitar 40°C selama 3 menit. Jangan memanaskan langsung dengan api."

Instruksi jelas mengurangi risiko dan meningkatkan kualitas data.

6.3.9 AI untuk Menyusun Tabel Pengamatan yang Sesuai Prosedur

Prosedur harus selaras dengan tabel pengamatan. Jika prosedur meminta siswa mengukur suhu, waktu, massa, pH, atau warna, tabel harus menyediakan kolom yang sesuai. AI dapat membantu membuat tabel pengamatan berdasarkan langkah kerja.

Prompt:

"Berdasarkan prosedur praktikum berikut, buat tabel pengamatan yang sesuai. Pastikan semua data yang dibutuhkan untuk menjawab tujuan praktikum memiliki kolom. Sertakan satuan dan kolom catatan."

Misalnya, untuk praktikum laju reaksi:

Percobaan	Suhu (°C)	Volume Pereaksi A (mL)	Volume Pereaksi B (mL)	Waktu Reaksi (s)	Laju Relatif (1/s)	Catatan

Untuk uji elektrolit:

Larutan	Prediksi	Nyala Lampu	Gelembung	Klasifikasi	Penjelasan Partikel

Tabel yang baik membantu siswa mencatat data secara sistematis dan mengurangi kehilangan informasi. Guru perlu memastikan tabel tidak terlalu banyak kolom sehingga siswa kewalahan.

6.3.10 AI untuk Menyusun Pertanyaan Analisis yang Mengarah pada Konsep

Pertanyaan analisis adalah bagian penting dari prosedur edukatif. Tanpa pertanyaan analisis, praktikum dapat berhenti pada pengamatan. AI dapat membantu membuat pertanyaan yang menghubungkan data dengan konsep.

Prompt:

"Buat pertanyaan analisis untuk praktikum pengaruh konsentrasi terhadap laju reaksi. Pertanyaan harus membantu siswa membaca data, membuat grafik, mengidentifikasi pola, menjelaskan dengan teori tumbukan, mengevaluasi variabel kontrol, dan menyimpulkan berdasarkan bukti."

Contoh pertanyaan:

1. Bagaimana perubahan waktu reaksi ketika konsentrasi pereaksi dinaikkan?
2. Bagaimana hubungan konsentrasi dengan laju relatif?
3. Data mana yang paling mendukung hipotesis?
4. Mengapa konsentrasi yang lebih tinggi dapat meningkatkan frekuensi tumbukan efektif?
5. Variabel apa yang harus dijaga tetap agar hasil dapat dibandingkan?
6. Apakah ada data yang menyimpang? Apa kemungkinan penyebabnya?

7. Kesimpulan apa yang dapat dibuat berdasarkan data?

Pertanyaan seperti ini menuntun siswa dari observasi menuju penalaran. Guru perlu menghindari pertanyaan yang jawabannya hanya menyalin teori tanpa merujuk data. Pertanyaan sebaiknya meminta siswa menggunakan data spesifik sebagai bukti.

6.3.11 AI untuk Menyusun Prosedur dengan Pengulangan dan Kontrol

Eksperimen yang baik membutuhkan kontrol dan pengulangan. Kontrol membantu memastikan bahwa perubahan hasil disebabkan oleh variabel bebas. Pengulangan membantu meningkatkan keandalan data. Dalam praktikum sekolah, pengulangan dapat dibatasi oleh waktu, tetapi tetap perlu diperkenalkan.

AI dapat membantu menambahkan pengulangan. Contoh prompt:

“Revisi prosedur praktikum laju reaksi berikut agar memuat pengulangan percobaan minimal dua kali, perhitungan rata-rata, dan identifikasi data menyimpang. Pastikan durasi tetap realistis untuk 2 x 45 menit.”

Pengulangan penting untuk mengajarkan bahwa data eksperimen dapat bervariasi. Jika percobaan pertama menghasilkan waktu 45 detik dan percobaan kedua 50 detik, siswa dapat menghitung rata-rata dan mempertimbangkan penyebab variasi. Ini membangun literasi data dan pemahaman ketidakpastian.

Kontrol juga penting. Jika siswa menguji pengaruh suhu, maka konsentrasi, volume, jenis pereaksi, dan cara pengadukan harus tetap. AI dapat membantu membuat daftar variabel kontrol untuk setiap praktikum.

Prompt:

“Untuk praktikum pengaruh suhu terhadap laju reaksi, identifikasi variabel kontrol yang harus dijaga tetap dan jelaskan mengapa setiap variabel penting.”

Hasil ini membantu siswa memahami rancangan eksperimen yang valid.

6.3.12 AI untuk Menyusun Prosedur Pembersihan Alat dan Pengelolaan Limbah

Prosedur praktikum tidak selesai setelah data diperoleh. Pembersihan alat dan pengelolaan limbah merupakan bagian penting dari keselamatan dan etika laboratorium. AI dapat membantu menambahkan bagian ini, tetapi guru harus menyesuaikan dengan jenis bahan dan aturan institusi.

Prompt:

“Tambahkan bagian pembersihan alat dan pengelolaan limbah pada prosedur praktikum indikator asam-basa menggunakan bahan aman dan larutan encer. Berikan instruksi yang sesuai untuk laboratorium sekolah.”

Instruksi pembersihan dapat mencakup:

1. Matikan alat atau sumber listrik.
2. Pisahkan limbah sesuai jenis.
3. Jangan membuang bahan tanpa instruksi guru.
4. Bilas alat sesuai arahan.
5. Keringkan dan kembalikan alat.
6. Bersihkan meja kerja.
7. Cuci tangan setelah praktikum.

Untuk bahan tertentu, limbah tidak boleh dibuang langsung. Untuk praktikum sekolah dengan bahan relatif aman dan encer, guru tetap perlu memberi instruksi yang sesuai. Jika ada logam berat, pelarut organik, oksidator kuat, atau asam-basa dalam konsentrasi signifikan, limbah harus dikelola secara khusus sesuai prosedur laboratorium.

AI dapat membantu membuat draf, tetapi kebijakan limbah lokal tetap harus diikuti.

6.3.13 AI untuk Menyusun Prosedur Praktikum Berbasis Inkuiri Terbimbing

Inkuiri terbimbing memberikan ruang berpikir kepada siswa tetapi tetap dalam batas aman. Guru dapat menyediakan masalah, alat-bahan, dan batas prosedur, sementara siswa diminta menentukan prediksi, variabel, dan interpretasi. AI dapat membantu mengubah prosedur langsung menjadi inkuiri terbimbing.

Contoh prompt:

“Ubah prosedur praktikum uji elektrolit menjadi inkuiri terbimbing. Jangan langsung memberi klasifikasi larutan. Buat siswa memprediksi, mengamati, mengelompokkan data, menjelaskan dengan model ion, dan menyusun kesimpulan. Sertakan K3.”

Perubahan prosedur dapat berupa:

- Sebelum menguji, siswa memprediksi daya hantar tiap larutan.
- Selama menguji, siswa mencatat nyala lampu dan gelembung.
- Setelah menguji, siswa mengelompokkan larutan berdasarkan data.
- Siswa menjelaskan perbedaan larutan dengan konsep ion.
- Siswa merevisi prediksi awal.

Pendekatan ini membuat praktikum lebih aktif dan membantu mengidentifikasi miskonsepsi. AI dapat membantu menyusun alur, tetapi guru perlu memastikan pertanyaan tidak terlalu terbuka sehingga siswa bingung.

6.3.14 AI untuk Menyusun Prosedur Eksperimen Berbasis Simulasi Pra-Lab

Simulasi pra-lab dapat membantu siswa memahami prosedur sebelum masuk laboratorium nyata. AI dapat membantu menyusun kegiatan simulasi pra-lab. Misalnya, sebelum titrasi nyata, siswa

dapat melihat simulasi penggunaan buret, titik akhir, dan perubahan warna indikator. Sebelum praktikum laju reaksi, siswa dapat memanipulasi suhu atau konsentrasi dalam simulasi. Sebelum uji elektrolit, siswa dapat melihat model ionisasi.

Prompt:

"Buat prosedur pra-laboratorium berbasis simulasi untuk praktikum titrasi asam-basa. Kegiatan harus membantu siswa mengenali buret, erlenmeyer, indikator, titik akhir, pembacaan meniskus, dan kesalahan umum. Sertakan pertanyaan kesiapan sebelum praktikum nyata."

Simulasi pra-lab dapat mengurangi kesalahan teknis dan meningkatkan keselamatan. Namun, guru perlu menekankan bahwa simulasi memiliki kondisi ideal. Dalam praktikum nyata, siswa perlu tetap teliti karena tetesan, pembacaan skala, dan perubahan warna dapat tidak sesempurna simulasi.

6.3.15 AI untuk Menyusun Prosedur Alternatif Jika Praktikum Nyata Tidak Memungkinkan

Ada kondisi ketika praktikum nyata tidak dapat dilakukan karena keterbatasan alat, bahan, waktu, risiko, atau pembelajaran jarak jauh. AI dapat membantu menyusun prosedur alternatif berbasis virtual laboratory, demonstrasi video, analisis data sekunder, atau eksperimen rumah yang aman. Namun, eksperimen rumah harus sangat hati-hati dan tidak boleh melibatkan bahan berbahaya, pemanasan berisiko, gas berbahaya, atau instruksi yang tidak dapat diawasi.

Prompt:

"Buat alternatif pembelajaran jika praktikum laju reaksi tidak dapat dilakukan di laboratorium. Alternatif mencakup virtual laboratory, analisis data sekunder, dan demonstrasi guru. Untuk setiap alternatif, tuliskan tujuan, aktivitas siswa, data yang dianalisis, pertanyaan analisis, dan keterbatasan."

Alternatif ini tetap harus menjaga hakikat praktikum: siswa bekerja dengan data dan penalaran. Jika hanya menonton video tanpa analisis, pembelajaran kurang bermakna. AI dapat membantu membuat tabel data simulatif, tetapi harus diberi label sebagai data simulatif. Data simulatif tidak boleh disajikan sebagai data eksperimen nyata.

6.3.16 AI untuk Mengembangkan Prosedur yang Mengantisipasi Miskonsepsi

Prosedur praktikum dapat dirancang untuk mengantisipasi miskonsepsi. Misalnya, dalam uji elektrolit, siswa mungkin berpikir bahwa semua zat larut menghantarkan listrik. Prosedur dapat memasukkan larutan gula sebagai pembanding. Dalam gaya antarmolekul, siswa mungkin berpikir bahwa air mendidih memutus ikatan O–H. Prosedur atau simulasi dapat menampilkan molekul H_2O tetap utuh. Dalam asam-basa, siswa mungkin menyamakan asam kuat dengan asam pekat. Praktikum dapat membandingkan konsep kekuatan asam dan konsentrasi secara hati-hati.

Prompt:

“Revisi prosedur praktikum uji elektrolit agar secara eksplisit mengantisipasi miskonsepsi bahwa semua zat larut menghantarkan listrik dan bahwa listrik dalam larutan dibawa oleh elektron bebas. Tambahkan pertanyaan prediksi, pembanding, dan analisis partikel.”

Prosedur yang mengantisipasi miskonsepsi dapat memuat:

1. Prediksi awal.
2. Pembanding kritis.
3. Data yang membedakan konsep.
4. Pertanyaan analisis.
5. Visualisasi partikel.
6. Refleksi perubahan pemahaman.

AI dapat membantu mengidentifikasi miskonsepsi dan menyusun pertanyaan, tetapi guru perlu menyesuaikan dengan pengalaman kelas.

6.3.17 AI untuk Menyusun Prosedur yang Memuat Diferensiasi

Dalam kelas heterogen, prosedur praktikum dapat memiliki tingkat tantangan berbeda. AI dapat membantu menyusun prosedur inti dan tugas pengayaan. Semua siswa melakukan prosedur dasar yang sama, tetapi siswa yang lebih siap dapat melakukan analisis tambahan.

Contoh prompt:

“Rancang prosedur praktikum asam-basa dengan diferensiasi. Semua siswa mengamati indikator alami pada beberapa larutan. Tugas dasar: klasifikasi asam-basa. Tugas menengah: membandingkan intensitas warna dan pH. Tugas lanjut: menjelaskan rentang kerja indikator dan keterbatasan pengamatan warna. Sertakan K3.”

Diferensiasi tidak harus memisahkan siswa secara kaku. Guru dapat memberikan tugas tambahan opsional atau pertanyaan berjenjang. AI dapat membantu membuat pertanyaan tingkat dasar, menengah, dan lanjut.

Contoh:

- Dasar: Larutan mana yang bersifat asam?
- Menengah: Bagaimana perubahan warna berkaitan dengan pH?
- Lanjut: Mengapa indikator alami tidak selalu memberi nilai pH yang presisi?

Diferensiasi membuat praktikum lebih inklusif dan menantang.

6.3.18 AI untuk Menyusun Prosedur yang Memperhatikan Etika Data

Etika data perlu dimasukkan dalam prosedur praktikum, terutama dalam era AI. Siswa harus memahami bahwa data harus dicatat sesuai pengamatan. AI tidak boleh digunakan untuk membuat

data fiktif. Jika data tidak sesuai teori, siswa harus menganalisis kemungkinan sumber kesalahan, bukan mengubah data.

AI dapat membantu membuat bagian etika data dalam LKPD. Prompt:

“Buat bagian etika data untuk LKPD praktikum kimia. Jelaskan bahwa data harus berasal dari pengamatan nyata, tidak boleh dimanipulasi, AI tidak boleh digunakan untuk membuat data fiktif, dan hasil yang tidak sesuai prediksi tetap bernilai jika dianalisis jujur.”

Contoh pernyataan:

“Catat semua data sesuai hasil pengamatan. Jangan mengganti data agar sesuai teori. Jika hasil berbeda dari prediksi, jelaskan kemungkinan penyebabnya. AI boleh digunakan untuk membantu memahami konsep atau menyusun bahasa laporan, tetapi tidak boleh digunakan untuk membuat data praktikum palsu.”

Pernyataan ini dapat ditambahkan ke laporan praktikum dan rubrik. Dengan demikian, praktikum juga menjadi sarana pembentukan integritas ilmiah.

6.3.19 Validasi Prosedur Eksperimen Berbantuan AI

Validasi prosedur eksperimen harus dilakukan sebelum praktikum. Validasi mencakup aspek berikut:

1. Tujuan praktikum jelas.
2. Konsep kimia benar.
3. Alat dan bahan tersedia.
4. Bahan sesuai jenjang dan aman.
5. Konsentrasi larutan tidak berisiko.
6. Urutan langkah logis.
7. Instruksi jelas dan terukur.
8. Variabel bebas, terikat, dan kontrol jelas.
9. Data yang dikumpulkan sesuai tujuan.
10. Tabel pengamatan lengkap.
11. Pertanyaan analisis mengarah pada konsep.
12. K3 spesifik.
13. Limbah dikelola.
14. Waktu realistis.
15. Risiko miskonsepsi diantisipasi.
16. Penggunaan AI etis.
17. Ada alternatif jika hasil tidak muncul.
18. Prosedur telah ditinjau guru/laboran.

Prompt validasi:

"Tinjau prosedur eksperimen kimia berikut. Evaluasi dari aspek tujuan, konsep, alat-bahan, konsentrasi, urutan langkah, keselamatan, limbah, variabel, data, analisis, waktu, miskonsepsi, dan kelayakan jenjang. Berikan revisi konkret."

Validasi dapat dilakukan melalui simulasi mental atau uji coba kecil oleh guru/laboran sebelum siswa melakukan praktikum. Jika prosedur belum pernah dilakukan, uji coba sangat dianjurkan. Prosedur yang terlihat baik di atas kertas belum tentu berjalan baik di laboratorium.

6.3.20 Prinsip Akhir Menyusun Prosedur Eksperimen dengan AI

Beberapa prinsip akhir perlu ditegaskan. Pertama, AI dapat membantu menyusun prosedur, tetapi tidak boleh menjadi penanggung jawab keselamatan. Kedua, prosedur harus dimulai dari tujuan pembelajaran. Ketiga, alat dan bahan harus dipilih berdasarkan keamanan dan ketersediaan. Keempat, instruksi harus jelas, terukur, dan tidak ambigu. Kelima, prosedur harus mengarahkan siswa mengumpulkan data yang relevan. Keenam, prosedur harus memuat K3 dan limbah secara spesifik. Ketujuh, pertanyaan analisis harus menghubungkan data dengan konsep. Kedelapan, prosedur harus mengantisipasi miskonsepsi. Kesembilan, prosedur harus menjaga etika data. Kesepuluh, semua prosedur AI harus divalidasi oleh guru sebelum digunakan.

Dengan demikian, AI dapat menjadi alat bantu yang sangat bermanfaat dalam menyusun prosedur eksperimen kimia yang aman dan edukatif. AI dapat mempercepat penyusunan langkah kerja, memperkaya pertanyaan analisis, membantu diferensiasi, menyusun tabel data, dan menambahkan komponen refleksi. Namun, guru tetap harus memeriksa keamanan, akurasi, kelayakan, dan nilai pedagogis prosedur. Praktikum kimia bukan sekadar aktivitas mengikuti instruksi, melainkan pengalaman ilmiah yang menuntut keselamatan, kejujuran data, ketelitian, dan penalaran berbasis bukti.

6.4 AI untuk Simulasi Laboratorium dan Virtual Laboratory

Simulasi laboratorium dan *virtual laboratory* merupakan bentuk inovasi pembelajaran kimia yang semakin penting dalam ekosistem pendidikan sains modern. Keduanya memungkinkan peserta didik mengeksplorasi fenomena kimia melalui lingkungan digital yang dirancang untuk meniru, memodelkan, atau merepresentasikan proses laboratorium. Dalam pembelajaran kimia, simulasi dan laboratorium virtual sangat berguna karena banyak konsep kimia bersifat abstrak, tidak tampak langsung oleh mata, sulit diamati pada skala partikel, membutuhkan alat khusus, memerlukan biaya tinggi, atau berisiko jika dilakukan secara langsung tanpa fasilitas memadai.

AI memperluas potensi simulasi dan *virtual laboratory* dengan menyediakan dukungan adaptif, penjelasan otomatis, umpan balik, personalisasi pembelajaran, analisis kesalahan, skenario eksperimen, serta bantuan interpretasi data. Jika laboratorium virtual konvensional menyediakan lingkungan percobaan digital, maka integrasi AI dapat membuat pengalaman tersebut lebih interaktif dan responsif. AI dapat bertindak sebagai asisten virtual yang memandu siswa memahami tujuan eksperimen, memberi peringatan keselamatan, mengajukan pertanyaan reflektif, membantu membaca grafik, menjelaskan hasil simulasi, serta mengarahkan siswa ketika terjadi kesalahan prosedural.

Namun, simulasi laboratorium dan *virtual laboratory* tidak boleh dipahami sebagai pengganti total praktikum nyata. Praktikum nyata memiliki nilai yang khas karena melibatkan keterampilan manual, pengalaman sensorik, pengelolaan alat-bahan, ketidakpastian data, kerja kelompok, disiplin keselamatan, dan interaksi langsung dengan fenomena kimia. Virtual laboratory sangat baik sebagai pelengkap, persiapan, penguatan, atau alternatif ketika praktikum nyata tidak memungkinkan. Oleh karena itu, penggunaan AI dalam simulasi laboratorium perlu ditempatkan secara pedagogis: bukan untuk menggantikan pengalaman ilmiah, melainkan untuk memperluas akses, memperkuat pemahaman, mengurangi risiko, dan memperkaya refleksi.

6.4.1 Pengertian Simulasi Laboratorium dan Virtual Laboratory

Simulasi laboratorium adalah representasi digital dari suatu proses, fenomena, atau eksperimen laboratorium. Simulasi dapat berupa animasi interaktif, model partikel, grafik dinamis, manipulasi variabel, atau representasi proses kimia yang memungkinkan siswa melihat hubungan sebab-akibat. Misalnya, simulasi laju reaksi dapat memperlihatkan bagaimana kenaikan suhu meningkatkan energi kinetik partikel dan frekuensi tumbukan efektif. Simulasi larutan elektrolit dapat menunjukkan ion-ion bergerak bebas dalam larutan dan menjelaskan mengapa larutan dapat menghantarkan listrik.

Virtual laboratory atau laboratorium virtual merupakan lingkungan digital yang lebih terstruktur, biasanya memungkinkan siswa melakukan percobaan secara virtual dengan memilih alat, bahan, variabel, dan prosedur tertentu. Dalam virtual laboratory, siswa dapat melakukan kegiatan seperti mencampur larutan, mengukur pH, melakukan titrasi, mengamati perubahan warna, mengubah konsentrasi, mengatur suhu, atau membaca hasil instrumen secara simulatif.

Perbedaan keduanya tidak selalu mutlak. Simulasi dapat menjadi bagian dari virtual laboratory, sedangkan virtual laboratory sering memuat simulasi. Secara sederhana, simulasi menekankan pemodelan fenomena, sedangkan virtual laboratory menekankan pengalaman melakukan eksperimen dalam lingkungan digital.

AI dapat meningkatkan keduanya. Pada simulasi, AI dapat menjelaskan apa yang terjadi ketika variabel diubah. Pada virtual laboratory, AI dapat menjadi tutor yang memberi umpan balik ketika siswa memilih prosedur yang kurang tepat. Misalnya, jika siswa melakukan titrasi terlalu cepat mendekati titik akhir, AI dapat memberi peringatan bahwa penambahan titran sebaiknya dilakukan tetes demi tetes.

6.4.2 Fungsi Pedagogis Virtual Laboratory dalam Kimia

Virtual laboratory memiliki beberapa fungsi pedagogis. Pertama, sebagai **pra-laboratorium**. Siswa dapat berlatih mengenal alat, memahami prosedur, dan memprediksi hasil sebelum masuk laboratorium nyata. Hal ini dapat mengurangi kesalahan teknis dan meningkatkan kesiapan siswa.

Kedua, sebagai **pengganti sementara** ketika praktikum nyata tidak memungkinkan. Misalnya, sekolah tidak memiliki alat, bahan terlalu mahal, eksperimen berbahaya, atau pembelajaran berlangsung jarak jauh. Dalam kondisi seperti ini, virtual laboratory memungkinkan siswa tetap mengeksplorasi konsep melalui data dan simulasi.

Ketiga, sebagai **penguat konsep submikroskopik**. Banyak fenomena kimia tidak tampak langsung. Virtual laboratory dapat memperlihatkan ion, molekul, tumbukan partikel, ikatan, perubahan energi, atau distribusi partikel secara visual. Hal ini membantu siswa menghubungkan fenomena makroskopik dengan penjelasan partikel.

Keempat, sebagai **ruang eksplorasi variabel**. Dalam praktikum nyata, mengubah banyak variabel dapat memakan waktu dan bahan. Dalam simulasi, siswa dapat dengan cepat mengubah suhu, konsentrasi, volume, tekanan, atau jumlah partikel untuk melihat dampaknya. Ini sangat berguna untuk membangun pemahaman hubungan antarvariabel.

Kelima, sebagai **sarana remedial dan pengayaan**. Siswa yang belum memahami konsep dapat mengulang simulasi, sedangkan siswa yang sudah menguasai konsep dapat mengeksplorasi skenario lebih kompleks.

AI dapat memperkuat semua fungsi tersebut dengan memberikan pertanyaan adaptif, penjelasan tambahan, petunjuk bertahap, dan umpan balik berdasarkan tindakan siswa.

6.4.3 Keunggulan Virtual Laboratory Berbantuan AI

Virtual laboratory berbantuan AI memiliki beberapa keunggulan dibandingkan simulasi statis atau laboratorium virtual konvensional. Keunggulan pertama adalah **adaptivitas**. AI dapat menyesuaikan bantuan dengan respons siswa. Jika siswa salah memahami hasil simulasi, AI dapat memberi penjelasan tambahan. Jika siswa sudah menguasai konsep, AI dapat memberi tantangan lanjutan.

Keunggulan kedua adalah **umpan balik langsung**. Dalam praktikum nyata, guru mungkin sulit memberi umpan balik individual kepada semua siswa secara cepat, terutama pada kelas besar. Dalam virtual laboratory, AI dapat memberi umpan balik segera terhadap pilihan siswa, misalnya kesalahan membaca grafik, kesalahan memilih variabel kontrol, atau kesalahan menyimpulkan data.

Keunggulan ketiga adalah **keamanan**. AI dapat memberikan peringatan ketika siswa memilih prosedur virtual yang berisiko jika dilakukan di laboratorium nyata. Misalnya, AI dapat menjelaskan mengapa bahan tertentu tidak boleh dicampur sembarangan atau mengapa pemanasan langsung harus dihindari pada kondisi tertentu.

Keunggulan keempat adalah **penghematan sumber daya**. Virtual laboratory tidak membutuhkan bahan kimia nyata, tidak menghasilkan limbah, dan dapat diakses berulang. Hal ini penting bagi sekolah dengan keterbatasan fasilitas.

Keunggulan kelima adalah **penguatan literasi data**. AI dapat membantu siswa membaca tabel, membuat grafik, menghitung rata-rata, mengenali pola, dan menulis kesimpulan berbasis data.

Keunggulan keenam adalah **dokumentasi pembelajaran**. Aktivitas virtual dapat direkam dalam bentuk log: variabel yang diubah, percobaan yang dilakukan, jawaban siswa, dan kesalahan yang muncul. Data ini dapat membantu guru memahami pola belajar siswa.

Namun, keunggulan tersebut hanya efektif jika AI dirancang dan digunakan dengan prinsip pedagogis yang benar.

6.4.4 Keterbatasan Virtual Laboratory

Meskipun bermanfaat, virtual laboratory memiliki keterbatasan. Keterbatasan pertama adalah tidak melatih keterampilan manual secara langsung. Siswa tidak benar-benar memegang pipet, membaca meniskus, membersihkan alat, merangkai alat uji elektrolit, menimbang bahan, atau menangani tumpahan. Padahal, keterampilan manual merupakan bagian penting dari pendidikan laboratorium.

Keterbatasan kedua adalah data dalam virtual laboratory sering terlalu ideal. Dalam laboratorium nyata, data dapat menyimpang karena kesalahan pengukuran, kontaminasi, keterbatasan alat, suhu ruangan, atau ketidaktelitian manusia. Dalam simulasi, data sering muncul rapi dan konsisten. Jika tidak dijelaskan, siswa dapat mengira eksperimen nyata selalu menghasilkan data ideal.

Keterbatasan ketiga adalah pengalaman sensorik berkurang. Praktikum nyata melibatkan pengamatan langsung terhadap bau dengan prosedur aman, tekstur, warna, endapan, gelembung, panas, suara, dan kondisi alat. Virtual laboratory tidak sepenuhnya menggantikan pengalaman tersebut.

Keterbatasan keempat adalah risiko miskonsepsi model. Simulasi selalu menyederhanakan realitas. Jika siswa tidak memahami batas model, mereka dapat menganggap simulasi sebagai realitas lengkap. Misalnya, simulasi tumbukan partikel dapat membuat siswa mengira molekul selalu bergerak seperti bola keras sederhana.

Keterbatasan kelima adalah ketergantungan teknologi. Akses internet, perangkat, kualitas platform, dan literasi digital memengaruhi efektivitas virtual laboratory.

Karena itu, virtual laboratory sebaiknya digunakan secara komplementer. Guru perlu menjelaskan fungsi dan batasnya secara eksplisit.

6.4.5 AI untuk Mendesain Skenario Virtual Laboratory

AI dapat membantu guru mendesain skenario virtual laboratory. Skenario yang baik harus memiliki tujuan pembelajaran, konteks masalah, variabel yang dapat dimanipulasi, data yang dihasilkan, pertanyaan analisis, umpan balik, dan refleksi.

Contoh prompt:

“Rancang skenario virtual laboratory untuk materi laju reaksi kelas XI. Siswa dapat mengubah suhu, konsentrasi, dan luas permukaan. Skenario harus memuat tujuan, latar masalah, variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, data simulasi, pertanyaan analisis, umpan balik otomatis, dan refleksi.”

Skenario seperti ini dapat menghasilkan aktivitas yang terstruktur. Misalnya, siswa diminta menguji satu variabel pada satu waktu. Jika siswa mengubah suhu dan konsentrasi sekaligus, AI dapat memberi umpan balik bahwa rancangan eksperimen tidak valid karena dua variabel bebas berubah bersamaan.

AI juga dapat membantu membuat skenario berbasis masalah:

“Seorang teknisi ingin mempercepat reaksi produksi gas dalam batas aman. Variabel apa yang harus diuji? Bagaimana cara menentukan variabel yang paling berpengaruh?”

Skenario berbasis masalah membuat virtual laboratory lebih bermakna karena siswa tidak hanya mengubah angka, tetapi memecahkan masalah ilmiah.

6.4.6 AI untuk Simulasi Pra-Laboratorium

Simulasi pra-laboratorium berfungsi mempersiapkan siswa sebelum praktikum nyata. AI dapat membantu membuat panduan pra-lab, kuis kesiapan, dan simulasi prosedural. Tujuannya agar siswa memahami alat, langkah, risiko, dan data yang akan dikumpulkan.

Contoh pada titrasi:

Sebelum melakukan titrasi nyata, siswa dapat menggunakan simulasi untuk mempelajari cara membaca buret, meneteskan titran perlahan, mengenali perubahan warna indikator, dan memahami titik akhir. AI dapat memberi umpan balik jika siswa menambahkan titran terlalu banyak atau salah membaca volume.

Prompt:

“Buat rancangan simulasi pra-lab titrasi asam-basa. Siswa harus belajar mengenal buret, pipet, erlenmeyer, indikator, titik akhir, pembacaan meniskus, dan kesalahan umum. Sertakan kuis kesiapan dan umpan balik.”

Simulasi pra-lab dapat meningkatkan efisiensi praktikum nyata. Siswa yang sudah memahami prosedur akan lebih siap dan lebih aman. Guru juga dapat menghemat waktu penjelasan teknis di laboratorium.

Namun, guru perlu menekankan bahwa simulasi bukan pengganti ketelitian nyata. Dalam titrasi nyata, perubahan warna bisa samar, tetesan bisa terlalu besar, gelembung udara dapat memengaruhi volume, dan pembacaan meniskus membutuhkan latihan.

6.4.7 AI untuk Simulasi Konsep Submikroskopik

Salah satu keunggulan besar simulasi adalah kemampuannya menampilkan level submikroskopik. AI dapat membantu merancang simulasi partikel yang menunjukkan proses yang tidak tampak langsung.

Contoh simulasi submikroskopik:

1. Ionisasi elektrolit kuat dan lemah.
2. Pergerakan ion dalam larutan elektrolit.
3. Tumbukan partikel pada laju reaksi.
4. Kesetimbangan dinamis antara reaksi maju dan balik.
5. Pembentukan endapan dari ion-ion dalam larutan.
6. Pelarutan NaCl dalam air melalui hidrasi ion.
7. Ikatan hidrogen antar molekul air.
8. Perubahan energi dalam reaksi eksoterm dan endoterm.

Prompt:

"Rancang simulasi submikroskopik untuk menjelaskan larutan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit. Simulasi harus menampilkan partikel dalam larutan, jumlah ion bebas, hubungan dengan nyala lampu, dan miskonsepsi yang perlu dihindari."

Simulasi seperti ini sangat membantu karena siswa dapat melihat bahwa NaCl menghasilkan banyak ion bebas, CH_3COOH hanya terionisasi sebagian, sedangkan gula larut sebagai molekul netral. Visualisasi ini menghubungkan data makroskopik dengan model partikel.

Guru harus memastikan simulasi tidak terlalu menyederhanakan. Misalnya, elektrolit lemah tidak berarti "larutan sedikit", tetapi zat hanya terionisasi sebagian.

6.4.8 AI untuk Simulasi Laju Reaksi

Laju reaksi sangat cocok untuk simulasi karena melibatkan variabel yang dapat dimanipulasi: suhu, konsentrasi, luas permukaan, dan katalis. Dalam laboratorium nyata, menguji semua variabel membutuhkan waktu dan bahan. Dalam simulasi, siswa dapat melihat pola dengan lebih cepat.

AI dapat membantu mendesain simulasi laju reaksi:

"Buat skenario simulasi laju reaksi berbasis teori tumbukan. Siswa dapat mengubah suhu, konsentrasi, luas permukaan, dan keberadaan katalis. Simulasi harus menampilkan gerak partikel, frekuensi tumbukan, energi tumbukan, data waktu reaksi, grafik, dan pertanyaan analisis."

Dalam simulasi, siswa dapat melihat bahwa kenaikan suhu meningkatkan energi kinetik partikel. Konsentrasi lebih tinggi meningkatkan jumlah partikel per volume sehingga tumbukan lebih sering. Luas permukaan lebih besar membuat lebih banyak area kontak. Katalis menyediakan jalur reaksi dengan energi aktivasi lebih rendah.

AI dapat memberi umpan balik seperti:

- "Anda mengubah suhu dan konsentrasi sekaligus. Untuk mengetahui pengaruh suhu, pertahankan konsentrasi tetap."

- “Grafik Anda menunjukkan laju meningkat ketika suhu meningkat. Hubungkan pola ini dengan teori tumbukan.”
- “Katalis mempercepat reaksi, tetapi tidak habis dan tidak mengubah jumlah produk pada kesetimbangan.”

Dengan demikian, simulasi menjadi alat berpikir ilmiah.

6.4.9 AI untuk Simulasi Kesetimbangan Kimia

Kesetimbangan kimia sulit dipahami karena konsepnya dinamis. Banyak siswa mengira reaksi berhenti saat setimbang. Simulasi dapat menunjukkan bahwa reaksi maju dan balik tetap berlangsung dengan laju sama. AI dapat membantu merancang simulasi yang menampilkan partikel, grafik konsentrasi, dan perubahan ketika sistem diberi gangguan.

Prompt:

“Rancang simulasi virtual laboratory untuk kesetimbangan kimia. Simulasi harus menampilkan reaksi maju dan balik, grafik konsentrasi terhadap waktu, laju reaksi maju dan balik, pengaruh perubahan konsentrasi, suhu, dan tekanan secara konseptual, serta miskonsepsi yang perlu dihindari.”

AI dapat mendukung simulasi dengan umpan balik:

- “Konsentrasi menjadi konstan, tetapi reaksi tidak berhenti.”
- “Setelah penambahan pereaksi, sistem menyesuaikan sampai mencapai keadaan setimbang baru.”
- “Katalis mempercepat tercapainya kesetimbangan, tetapi tidak mengubah nilai K.”

Simulasi kesetimbangan sangat membantu karena fenomena dinamis sulit diamati langsung di laboratorium sekolah. Guru dapat menggabungkan simulasi dengan eksperimen sederhana seperti sistem indikator warna atau reaksi reversibel tertentu jika aman dan sesuai fasilitas.

6.4.10 AI untuk Simulasi Asam-Basa dan Titrasi

Asam-basa dan titrasi merupakan topik yang sangat terbantu oleh virtual laboratory. Siswa dapat mengubah konsentrasi, volume, jenis asam-basa, dan indikator, lalu melihat perubahan pH atau kurva titrasi. Dalam praktikum nyata, titrasi membutuhkan ketelitian alat dan waktu. Virtual lab dapat membantu siswa memahami konsep sebelum melakukan titrasi nyata.

Prompt:

“Rancang virtual laboratory titrasi asam kuat-basa kuat untuk siswa SMA. Siswa dapat memilih konsentrasi HCl dan NaOH, mengatur volume titran, mengamati perubahan pH, melihat kurva titrasi, dan menentukan titik ekuivalen. Sertakan pertanyaan analisis dan umpan balik otomatis.”

AI dapat membantu menjelaskan perbedaan titik akhir dan titik ekuivalen. Titik ekuivalen adalah kondisi stoikiometrik ketika mol asam dan basa sesuai perbandingan reaksi. Titik akhir adalah perubahan warna indikator yang diamati. Keduanya tidak selalu identik, meskipun dapat dibuat berdekatan dengan pemilihan indikator yang tepat.

Simulasi juga dapat digunakan untuk membandingkan asam kuat-basa kuat, asam lemah-basa kuat, atau basa lemah-asam kuat pada tingkat lanjut. Namun, guru harus menyesuaikan tingkat kompleksitas.

6.4.11 AI untuk Simulasi Elektrokimia

Elektrokimia merupakan topik yang abstrak karena melibatkan aliran elektron, reaksi redoks, elektroda, elektrolit, jembatan garam, dan potensial sel. Simulasi dapat membantu siswa melihat proses yang tidak tampak, seperti elektron mengalir melalui kawat luar dan ion bergerak dalam larutan atau jembatan garam.

AI dapat membantu merancang simulasi:

“Buat skenario virtual laboratory sel volta Zn-Cu. Simulasi harus menampilkan anode, katode, reaksi oksidasi, reaksi reduksi, aliran elektron melalui kawat luar, pergerakan ion dalam jembatan garam, perubahan massa elektroda, potensial sel, dan miskonsepsi umum.”

Miskonsepsi yang harus dihindari:

1. Elektron mengalir melalui jembatan garam.
2. Anode selalu bermuatan positif dalam semua sel.
3. Oksidasi dan reduksi dapat terjadi di tempat yang sama tanpa pemisahan.
4. Jembatan garam menghasilkan elektron.
5. Ion bergerak tanpa tujuan menjaga keseimbangan muatan.

AI dapat memberi umpan balik ketika siswa salah mengidentifikasi anode dan katode. Namun, guru harus memvalidasi semua arah aliran dan reaksi. Elektrokimia sangat rentan kesalahan representasi.

6.4.12 AI untuk Simulasi Larutan dan Kelarutan

Topik larutan dan kelarutan cocok untuk simulasi karena siswa dapat melihat interaksi ion atau molekul dengan pelarut. Misalnya, simulasi pelarutan NaCl dapat menunjukkan molekul air mengorientasikan atom O ke Na^+ dan atom H ke Cl^-. Simulasi larutan gula dapat menunjukkan molekul gula tetap netral tetapi berinteraksi dengan air melalui ikatan hidrogen.

Prompt:

“Rancang simulasi pelarutan NaCl dan gula dalam air. Simulasi harus membandingkan gaya ion-dipol pada NaCl dan interaksi molekul gula dengan air, menunjukkan mengapa NaCl menghasilkan ion bebas sedangkan gula tidak, serta menghubungkan dengan daya hantar listrik.”

Simulasi kelarutan juga dapat menunjukkan prinsip “like dissolves like” secara lebih konseptual. Siswa dapat membandingkan zat polar dan nonpolar dalam pelarut polar dan nonpolar. Namun, guru perlu menjelaskan bahwa kelarutan dipengaruhi oleh banyak faktor, tidak hanya polaritas secara sederhana.

AI dapat membantu membuat pertanyaan:

1. Mengapa NaCl dapat menghantarkan listrik setelah larut?
2. Mengapa gula larut tetapi tidak menghantarkan listrik?
3. Bagaimana orientasi molekul air terhadap ion?
4. Apa perbedaan larut sebagai ion dan larut sebagai molekul?

6.4.13 AI untuk Simulasi Praktikum Berbahaya atau Sulit

Beberapa eksperimen kimia tidak cocok dilakukan oleh siswa karena risiko tinggi, biaya mahal, atau kebutuhan alat khusus. Virtual laboratory dapat digunakan sebagai alternatif. Misalnya, eksperimen dengan gas beracun, bahan sangat korosif, logam reaktif, pelarut mudah terbakar, tekanan tinggi, suhu sangat tinggi, atau instrumen mahal dapat disimulasikan.

AI dapat membantu membuat simulasi konseptual yang aman. Contoh prompt:

“Buat skenario virtual laboratory untuk menunjukkan konsep reaksi logam alkali dengan air secara aman. Jangan memberi instruksi praktikum nyata. Fokus pada konsep reaktivitas, tren periodik, energi reaksi, dan keselamatan.”

Dalam kasus seperti ini, AI harus diarahkan agar tidak memberi prosedur eksperimen berbahaya. Guru dapat menggunakan video demonstrasi tepercaya atau simulasi digital, bukan praktikum langsung.

Virtual laboratory juga berguna untuk instrumen seperti spektrofotometer, kromatografi, atau titrasi potensiometri jika alat tidak tersedia. Siswa dapat mempelajari prinsip, data, dan interpretasi tanpa harus memiliki instrumen nyata.

6.4.14 AI sebagai Tutor dalam Virtual Laboratory

AI dapat berfungsi sebagai tutor virtual selama siswa menggunakan virtual laboratory. Tutor AI dapat memberi petunjuk, menjawab pertanyaan, mengingatkan tujuan, atau meminta siswa menjelaskan alasan. Namun, tutor AI harus dirancang agar tidak langsung memberikan jawaban akhir. Tujuannya membantu siswa berpikir, bukan menggantikan proses berpikir.

Contoh pola umpan balik AI:

Siswa: “Saya tidak tahu variabel mana yang harus diubah.”
AI: “Lihat kembali pertanyaan penelitian. Faktor apa yang ingin Anda uji pengaruhnya? Itulah variabel bebas. Faktor apa yang akan Anda ukur sebagai hasil?”

Siswa: “Saya mengubah suhu dan konsentrasi sekaligus.”
AI: “Jika dua variabel berubah bersamaan, sulit mengetahui mana yang menyebabkan perubahan hasil. Coba ubah satu variabel dan pertahankan variabel lain tetap.”

Siswa: “Grafik saya menurun. Apa artinya?”
AI: “Periksa sumbu grafik. Jika sumbu y adalah waktu reaksi, waktu yang lebih kecil berarti reaksi lebih cepat. Bagaimana jika Anda mengubahnya menjadi laju relatif?”

Tutor AI yang baik memberi pertanyaan pemandu, bukan hanya jawaban. Guru dapat membuat panduan prompt agar AI berperan sebagai fasilitator inkuiri.

6.4.15 AI untuk Umpan Balik Adaptif pada Virtual Laboratory

Umpan balik adaptif berarti respons yang disesuaikan dengan tindakan atau kesalahan siswa. Dalam virtual laboratory, AI dapat memberi umpan balik berbeda berdasarkan pola kesalahan.

Contoh pada praktikum virtual laju reaksi:

- Jika siswa tidak mengontrol variabel, AI memberi umpan balik tentang rancangan eksperimen.
- Jika siswa salah membaca grafik, AI memberi petunjuk tentang sumbu.
- Jika siswa menyimpulkan tanpa data, AI meminta bukti.
- Jika siswa menyatakan katalis mengubah produk akhir, AI memberi klarifikasi tentang katalis.
- Jika siswa menulis kesimpulan terlalu umum, AI meminta siswa menyebut data spesifik.

Prompt untuk merancang umpan balik:

“Buat daftar umpan balik adaptif untuk virtual laboratory laju reaksi. Kategorikan berdasarkan kesalahan siswa: salah memilih variabel, salah membaca data, salah membuat grafik, salah menjelaskan teori tumbukan, dan kesimpulan tidak berbasis data.”

Umpan balik adaptif dapat membuat pembelajaran lebih personal. Namun, guru harus memeriksa agar umpan balik tidak memberi informasi keliru atau terlalu langsung.

6.4.16 AI untuk Menyusun LKPD Virtual Laboratory

Virtual laboratory tetap memerlukan LKPD. Tanpa LKPD, siswa dapat hanya mencoba-coba tanpa tujuan. LKPD virtual lab harus memuat tujuan, instruksi akses, variabel yang diubah, data yang dicatat, pertanyaan analisis, dan refleksi keterbatasan simulasi.

Prompt:

“Buat LKPD virtual laboratory untuk topik kesetimbangan kimia. LKPD harus memuat tujuan, petunjuk penggunaan simulasi, variabel yang diuji, tabel data, grafik, pertanyaan analisis, refleksi tentang kesetimbangan dinamis, dan keterbatasan simulasi.”

LKPD virtual lab juga perlu meminta siswa membedakan hasil simulasi dan realitas. Pertanyaan reflektif dapat berupa:

1. Bagian mana dari simulasi yang membantu memahami konsep?
2. Bagian mana yang merupakan penyederhanaan?
3. Apakah data simulasi terlalu ideal?
4. Bagaimana percobaan nyata mungkin berbeda?
5. Apa yang tetap perlu dibuktikan melalui praktikum nyata?

Pertanyaan ini membantu siswa mengembangkan literasi model.

6.4.17 AI untuk Membandingkan Data Simulasi dan Data Praktikum Nyata

Salah satu strategi terbaik adalah menggabungkan virtual laboratory dan praktikum nyata. Siswa dapat memperoleh data simulasi, lalu membandingkannya dengan data praktikum nyata. Perbandingan ini mengajarkan bahwa simulasi adalah model ideal, sedangkan praktikum nyata mengandung variasi dan ketidakpastian.

Contoh pada laju reaksi:

- Simulasi menunjukkan hubungan suhu dan laju secara ideal.
- Praktikum nyata menghasilkan data dengan variasi.
- Siswa membandingkan pola umum dan sumber perbedaan.

Prompt:

“Buat aktivitas pembelajaran yang membandingkan data simulasi dan data praktikum nyata pada topik laju reaksi. Aktivitas harus memuat tabel perbandingan, pertanyaan tentang ketidakpastian data, sumber kesalahan, dan kesimpulan berbasis bukti.”

Pertanyaan analisis:

1. Apakah tren data simulasi dan data nyata sama?
2. Data nyata mana yang menyimpang dari pola?
3. Apa kemungkinan penyebab perbedaan?
4. Apakah kesimpulan utama tetap didukung?
5. Apa kelebihan dan keterbatasan simulasi?

Aktivitas ini sangat baik untuk membangun literasi sains dan pemahaman tentang model.

6.4.18 AI untuk Asesmen dalam Virtual Laboratory

Virtual laboratory dapat dinilai melalui berbagai cara. Penilaian tidak hanya berdasarkan hasil akhir, tetapi juga proses. AI dapat membantu membuat rubrik asesmen.

Aspek yang dapat dinilai:

1. Pemilihan variabel.
2. Pengendalian variabel kontrol.
3. Ketepatan prosedur virtual.
4. Kelengkapan data.
5. Kualitas grafik.
6. Analisis pola.
7. Kesimpulan berbasis data.
8. Refleksi keterbatasan simulasi.
9. Etika penggunaan AI.
10. Perbandingan dengan praktikum nyata jika ada.

Prompt:

"Buat rubrik penilaian virtual laboratory untuk topik titrasi asam-basa. Rubrik harus menilai pemahaman tujuan, penggunaan simulasi, pencatatan data, interpretasi kurva titrasi, penentuan titik ekuivalen, kesimpulan, dan refleksi keterbatasan simulasi. Gunakan skala 1–4."

Rubrik ini membantu guru menilai aktivitas virtual secara serius. Virtual laboratory bukan sekadar aktivitas tambahan, tetapi dapat menjadi bagian dari asesmen formatif atau proyek pembelajaran.

6.4.19 Validasi Simulasi dan Virtual Laboratory Berbantuan AI

Simulasi dan virtual laboratory harus divalidasi. Validasi mencakup akurasi konsep, kesesuaian model, keamanan, keterbacaan, interaktivitas, dan kesesuaian tujuan. Guru harus memeriksa apakah simulasi menampilkan hubungan variabel yang benar, apakah visual partikel tidak menyesatkan, apakah data masuk akal, dan apakah umpan balik AI akurat.

Daftar cek validasi:

1. Apakah tujuan simulasi jelas?
2. Apakah konsep kimia benar?
3. Apakah model tidak terlalu menyesatkan?
4. Apakah variabel yang dapat diubah relevan?
5. Apakah data yang dihasilkan masuk akal?
6. Apakah visual sesuai level representasi?
7. Apakah umpan balik AI benar?
8. Apakah simulasi menjelaskan batas model?
9. Apakah siswa tetap diminta berpikir dan menganalisis?
10. Apakah simulasi aman dan tidak memberi instruksi berbahaya?
11. Apakah sesuai jenjang?
12. Apakah ada asesmen atau refleksi?

Prompt validasi:

“Tinjau rancangan virtual laboratory berikut. Periksa akurasi konsep, variabel, data, visualisasi, umpan balik AI, potensi miskonsepsi, batas model, keselamatan, dan kesesuaian dengan tujuan pembelajaran. Berikan revisi konkret.”

Validasi ini penting karena simulasi yang tampak menarik dapat tetap mengandung kesalahan konseptual.

6.4.20 Prinsip Integrasi AI, Simulasi, dan Praktikum Nyata

Integrasi AI, simulasi, dan praktikum nyata harus mengikuti prinsip pedagogis yang seimbang. Pertama, gunakan simulasi untuk memperjelas konsep yang tidak tampak. Kedua, gunakan virtual laboratory untuk persiapan, eksplorasi variabel, atau alternatif jika praktikum nyata tidak memungkinkan. Ketiga, gunakan praktikum nyata untuk melatih keterampilan manual, pengalaman empiris, keselamatan, dan kejujuran data. Keempat, gunakan AI untuk memberi panduan, umpan balik, dan refleksi, bukan menggantikan penalaran siswa. Kelima, selalu jelaskan batas simulasi. Keenam, bandingkan data simulasi dan data nyata jika memungkinkan. Ketujuh, validasi semua konten dan umpan balik AI.

Dengan demikian, AI untuk simulasi laboratorium dan virtual laboratory dapat memperkaya pembelajaran kimia secara signifikan. AI dapat membantu merancang skenario, memberi umpan balik adaptif, menjelaskan model partikel, memandu analisis data, dan membuat pembelajaran lebih personal. Namun, simulasi dan virtual laboratory tetap harus dipahami sebagai model pembelajaran yang memiliki batas. Praktikum nyata tetap penting untuk membangun keterampilan eksperimental, sikap ilmiah, keselamatan, dan pengalaman empiris. Penggunaan terbaik adalah integrasi yang seimbang antara AI, virtual laboratory, dan praktikum nyata.

6.5 AI untuk Pengembangan LKPD Praktikum Berbasis Inkuiri

LKPD praktikum berbasis inkuiri merupakan perangkat pembelajaran yang dirancang untuk menuntun peserta didik melakukan penyelidikan ilmiah melalui kegiatan laboratorium. Berbeda dari LKPD praktikum resep yang hanya memuat alat, bahan, dan langkah kerja, LKPD berbasis inkuiri mengajak siswa berpikir sejak awal: mengamati fenomena, merumuskan masalah, membuat prediksi, menyusun hipotesis, mengidentifikasi variabel, merancang atau mengikuti prosedur terbimbing, mengumpulkan data, menganalisis hasil, menyusun kesimpulan berbasis bukti, serta merefleksikan proses belajar.

Dalam pembelajaran kimia, LKPD praktikum berbasis inkuiri sangat penting karena kimia merupakan ilmu eksperimental yang menuntut hubungan antara data, konsep, dan representasi. Praktikum tidak cukup hanya menghasilkan perubahan warna, endapan, gelembung, atau angka pengukuran. Peserta didik perlu memahami makna fenomena tersebut dalam kerangka konsep kimia. Misalnya, nyala lampu pada uji elektrolit perlu dihubungkan dengan keberadaan ion bebas; perubahan warna indikator perlu dihubungkan dengan sifat asam-basa; perubahan waktu reaksi perlu dihubungkan dengan teori tumbukan; terbentuknya endapan perlu dihubungkan dengan ion yang bereaksi dan persamaan ion bersih.

AI dapat membantu guru mengembangkan LKPD praktikum berbasis inkuiri secara lebih cepat, sistematis, dan adaptif. AI dapat digunakan untuk menyusun fenomena pemantik, pertanyaan investigatif, tujuan praktikum, peta konsep awal, identifikasi variabel, format hipotesis, prosedur terbimbing, tabel pengamatan, panduan analisis data, pertanyaan HOTS, refleksi miskonsepsi, rubrik penilaian, serta alternatif praktikum jika alat dan bahan terbatas. Namun, LKPD yang dihasilkan AI harus selalu divalidasi oleh guru, terutama dari aspek keselamatan laboratorium, akurasi konsep, kelayakan prosedur, kesesuaian jenjang, dan potensi miskonsepsi.

6.5.1 Hakikat LKPD Praktikum Berbasis Inkuiri

LKPD praktikum berbasis inkuiri adalah lembar kerja yang dirancang untuk memandu siswa melakukan penyelidikan ilmiah. Fokus utamanya bukan hanya menyelesaikan langkah praktikum, tetapi membangun proses berpikir ilmiah. Siswa diajak memahami masalah, memprediksi hasil, mengumpulkan bukti, menafsirkan data, dan menyusun kesimpulan.

Dalam LKPD praktikum konvensional, siswa sering hanya membaca prosedur lalu melaksanakan perintah. Pola ini dapat menghasilkan keterampilan teknis, tetapi belum tentu membangun pemahaman konseptual. Siswa mungkin tahu bahwa larutan tertentu membuat lampu menyala, tetapi tidak memahami bahwa ion bebas menjadi pembawa muatan dalam larutan. Siswa mungkin tahu bahwa suhu tinggi mempercepat reaksi, tetapi tidak mampu menjelaskan hubungan suhu dengan energi kinetik dan tumbukan efektif.

LKPD berbasis inkuiri berusaha mengatasi kelemahan tersebut. LKPD ini menempatkan siswa sebagai penyelidik, bukan sekadar pelaksana instruksi. Guru tetap dapat memberi arahan, terutama untuk keselamatan, tetapi siswa diberi ruang untuk berpikir, menafsirkan, dan menyimpulkan.

AI dapat membantu menyusun struktur LKPD inkuiri. Contoh prompt:

“Buat LKPD praktikum berbasis inkuiri terbimbing tentang uji larutan elektrolit dan nonelektrolit untuk siswa SMA kelas X. LKPD harus memuat fenomena pemantik, rumusan masalah, prediksi, hipotesis, variabel, alat-bahan aman, K3, prosedur terbimbing, tabel pengamatan, analisis data, representasi partikel, kesimpulan berbasis bukti, refleksi miskonsepsi, dan rubrik penilaian.”

Prompt seperti ini mengarahkan AI agar tidak hanya menghasilkan prosedur, tetapi perangkat inkuiri yang utuh.

6.5.2 Perbedaan LKPD Resep dan LKPD Inkuiri

LKPD resep biasanya berisi instruksi langsung: ambil bahan, campurkan, amati, dan jawab pertanyaan. Siswa mengikuti prosedur yang sudah ditentukan sepenuhnya. LKPD semacam ini mudah digunakan, relatif aman, dan cocok untuk siswa pemula, tetapi sering kurang menantang secara kognitif.

LKPD inkuiri memiliki struktur yang lebih menuntut penalaran. Siswa diminta memahami masalah, membuat prediksi, mengidentifikasi variabel, menafsirkan data, dan menjelaskan hasil. Pada inkuiri terbimbing, guru tetap menyediakan prosedur utama, tetapi siswa diberi pertanyaan

pemandu. Pada inkuiri terbuka, siswa dapat merancang prosedur sendiri dengan batas keselamatan tertentu.

Perbedaannya dapat diringkas sebagai berikut:

Aspek	LKPD Resep	LKPD Inkuiri
Peran siswa	Mengikuti instruksi	Menyelidiki dan menalar
Fokus	Hasil praktikum	Proses ilmiah dan pemahaman
Pertanyaan	Biasanya setelah praktikum	Sebelum, selama, dan sesudah praktikum
Variabel	Sering sudah ditentukan	Diidentifikasi atau dianalisis siswa
Data	Dicatat sesuai tabel	Ditafsirkan sebagai bukti
Kesimpulan	Sering mengikuti teori	Berdasarkan data dan alasan
Kelebihan	Mudah, terkontrol	Mendorong berpikir ilmiah
Tantangan	Bisa mekanis	Membutuhkan waktu dan bimbingan

AI dapat membantu mengubah LKPD resep menjadi LKPD inkuiri. Prompt:

“Ubah LKPD praktikum resep berikut menjadi LKPD berbasis inkuiri terbimbing. Tambahkan fenomena pemantik, prediksi, hipotesis, identifikasi variabel, pertanyaan analisis berbasis data, dan refleksi. Jangan mengubah aspek keselamatan.”

Perubahan seperti ini sangat berguna bagi guru yang sudah memiliki praktikum lama tetapi ingin membuatnya lebih bermakna.

6.5.3 Struktur Ideal LKPD Praktikum Berbasis Inkuiri

LKPD praktikum berbasis inkuiri sebaiknya memiliki struktur yang sistematis. Struktur ini membantu siswa bergerak dari fenomena menuju konsep. Salah satu struktur yang dapat digunakan adalah:

1. Judul praktikum.
2. Fenomena pemantik.
3. Pertanyaan investigatif.
4. Tujuan praktikum.
5. Konsep prasyarat.
6. Prediksi awal.
7. Rumusan hipotesis.
8. Identifikasi variabel.
9. Alat dan bahan.
10. Keselamatan kerja.
11. Prosedur praktikum.
12. Tabel pengamatan.
13. Analisis data.
14. Representasi kimia.
15. Pertanyaan diskusi.
16. Kesimpulan berbasis bukti.

17. Refleksi miskonsepsi.
18. Tindak lanjut.
19. Rubrik penilaian.

AI dapat membantu mengisi setiap bagian. Namun, guru harus memastikan bahwa setiap bagian memiliki fungsi, bukan sekadar formalitas. Misalnya, fenomena pemantik harus benar-benar relevan dengan konsep. Pertanyaan investigatif harus dapat dijawab melalui data praktikum. Hipotesis harus dapat diuji. Variabel harus jelas. Analisis data harus mengarah pada kesimpulan.

Prompt umum:

"Susun LKPD praktikum berbasis inkuiri dengan struktur lengkap: judul, fenomena pemantik, masalah, tujuan, konsep prasyarat, prediksi, hipotesis, variabel, alat-bahan, K3, prosedur, data, analisis, representasi kimia, diskusi, kesimpulan, refleksi, dan rubrik. Topik: [isi topik]. Jenjang: [SMP/SMA/PT]. Durasi: [waktu]. Alat-bahan: [tersedia]. Model inkuiri: [terbimbing/terbuka]."

Prompt ini dapat disesuaikan untuk berbagai topik praktikum kimia.

6.5.4 AI untuk Menyusun Fenomena Pemantik

Fenomena pemantik adalah bagian awal LKPD yang bertujuan membangkitkan rasa ingin tahu siswa. Fenomena pemantik sebaiknya dekat dengan kehidupan, dapat diamati, dan mengarah pada konsep yang akan dipelajari. Fenomena pemantik tidak harus panjang, tetapi harus cukup kuat untuk memunculkan pertanyaan.

Contoh fenomena pemantik pada topik elektrolit:

"Air garam dan air gula sama-sama tampak bening. Namun, ketika diuji dengan alat uji elektrolit, air garam dapat menyalakan lampu, sedangkan air gula tidak. Mengapa dua larutan yang sama-sama bening dapat memiliki kemampuan menghantarkan listrik yang berbeda?"

Contoh pada laju reaksi:

"Tablet effervescent lebih cepat larut dalam air hangat daripada air dingin. Apa yang menyebabkan perbedaan kecepatan reaksi tersebut?"

Contoh pada indikator asam-basa:

"Ekstrak kol ungu dapat berubah warna ketika dicampurkan ke larutan tertentu. Mengapa satu ekstrak yang sama dapat menghasilkan warna berbeda?"

AI dapat membantu membuat fenomena pemantik. Prompt:

"Buat lima fenomena pemantik untuk LKPD praktikum berbasis inkuiri tentang larutan elektrolit. Fenomena harus kontekstual, aman, dan mendorong siswa bertanya tentang ion dalam larutan."

Guru memilih fenomena yang paling sesuai dengan siswa. Fenomena pemantik yang baik harus mengarah pada pertanyaan investigatif, bukan hanya cerita menarik.

6.5.5 AI untuk Merumuskan Pertanyaan Investigatif

Pertanyaan investigatif adalah pertanyaan utama yang akan dijawab melalui praktikum. Pertanyaan ini harus jelas, dapat diuji, dan sesuai dengan data yang akan dikumpulkan. Pertanyaan yang terlalu luas akan sulit dijawab. Pertanyaan yang terlalu sempit dapat mengurangi makna inkuiri.

Contoh pertanyaan investigatif:

- "Bagaimana pengaruh suhu terhadap laju reaksi?"
- "Apakah semua zat yang larut dalam air dapat menghantarkan listrik?"
- "Bagaimana perubahan pH memengaruhi warna indikator alami?"
- "Ion apa yang berperan dalam pembentukan endapan pada reaksi dua larutan?"
- "Bagaimana konsentrasi larutan memengaruhi waktu reaksi?"

AI dapat membantu memperbaiki pertanyaan investigatif. Prompt:

"Perbaiki pertanyaan praktikum berikut agar menjadi pertanyaan investigatif yang dapat diuji melalui eksperimen. Pastikan pertanyaan memuat variabel yang jelas dan dapat dijawab dengan data."

Contoh pertanyaan kurang baik:

"Mengapa reaksi kimia bisa terjadi?"

Perbaikan:

"Bagaimana pengaruh suhu terhadap waktu reaksi antara larutan tertentu dalam kondisi volume dan konsentrasi yang sama?"

Pertanyaan yang baik membantu siswa fokus pada penyelidikan.

6.5.6 AI untuk Membantu Siswa Membuat Prediksi dan Hipotesis

Prediksi dan hipotesis adalah bagian penting dalam inkuiri. Prediksi mendorong siswa menggunakan pengetahuan awal. Hipotesis menyatakan dugaan hubungan antarvariabel. AI dapat membantu guru membuat format hipotesis, tetapi siswa sebaiknya tetap menyusun hipotesis sendiri.

Format hipotesis sederhana:

"Jika …, maka …, karena …."

Contoh:

“Jika suhu larutan dinaikkan, maka waktu reaksi akan lebih singkat karena partikel bergerak lebih cepat sehingga tumbukan efektif lebih sering terjadi.”

AI dapat membantu membuat bagian LKPD:

“Buat bagian prediksi dan hipotesis untuk praktikum pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Sertakan pertanyaan pemandu yang membantu siswa menulis hipotesis tanpa langsung memberi jawaban final.”

Pertanyaan pemandu:

1. Variabel apa yang akan diubah?
2. Hasil apa yang akan diamati?
3. Menurut Anda, bagaimana perubahan variabel bebas memengaruhi hasil?
4. Konsep kimia apa yang dapat menjelaskan prediksi Anda?
5. Tuliskan hipotesis dalam format “Jika…, maka…, karena….”

Bagian ini membantu siswa belajar berpikir ilmiah secara eksplisit.

6.5.7 AI untuk Membimbing Identifikasi Variabel

Identifikasi variabel merupakan bagian penting dalam LKPD inkuiri. AI dapat membantu menyusun tabel variabel dan pertanyaan pemandu. Siswa perlu memahami variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol agar eksperimen valid.

Contoh pada praktikum konsentrasi dan laju reaksi:

Jenis Variabel	Pertanyaan Pemandu	Jawaban
Variabel bebas	Faktor apa yang sengaja diubah?	Konsentrasi larutan
Variabel terikat	Hasil apa yang diukur?	Waktu reaksi/laju reaksi
Variabel kontrol	Faktor apa yang harus tetap?	Volume, suhu, jenis pereaksi, cara pengadukan

Prompt:

“Buat bagian identifikasi variabel untuk LKPD inkuiri praktikum pengaruh konsentrasi terhadap laju reaksi. Sertakan tabel isian, contoh, dan pertanyaan reflektif tentang mengapa variabel kontrol penting.”

Pertanyaan reflektif:

“Jika suhu dan konsentrasi diubah bersamaan, apakah kita masih dapat menyimpulkan pengaruh konsentrasi secara tepat? Jelaskan.”

Pertanyaan ini membantu siswa memahami validitas eksperimen.

6.5.8 AI untuk Menyusun Prosedur Inkuiri Terbimbing

Dalam LKPD inkuiri terbimbing, prosedur tetap disediakan agar kegiatan aman dan terarah. Namun, prosedur dapat disusun dengan ruang berpikir. Misalnya, sebelum setiap langkah penting, siswa diminta memprediksi hasil atau menjelaskan tujuan langkah.

Contoh prompt:

"Susun prosedur inkuiri terbimbing untuk praktikum uji elektrolit. Prosedur harus aman, menggunakan sumber listrik tegangan rendah, dan menyertakan pertanyaan sebelum dan sesudah pengujian setiap larutan."

Contoh struktur langkah:

1. Periksa alat uji elektrolit bersama guru.
2. Prediksi daya hantar masing-masing larutan.
3. Uji larutan pertama.
4. Catat nyala lampu dan gelembung.
5. Bersihkan elektroda sebelum larutan berikutnya.
6. Bandingkan hasil dengan prediksi.
7. Kelompokkan larutan berdasarkan data.
8. Jelaskan dengan model ion.

Prosedur seperti ini tetap aman tetapi tidak sepenuhnya mekanis. Siswa terlibat dalam prediksi, pengamatan, dan interpretasi.

6.5.9 AI untuk Menyusun Tabel Data yang Mendukung Inkuiri

Tabel data dalam LKPD inkuiri harus mendukung proses berpikir. Tidak cukup hanya mencatat hasil. Tabel dapat memuat prediksi, data, interpretasi awal, dan bukti.

Contoh tabel uji elektrolit:

Larutan	Prediksi Nyala Lampu	Hasil Nyata	Gelembung	Klasifikasi	Bukti dari Data	Penjelasan Partikel

Contoh tabel laju reaksi:

Percobaan	Variabel yang Diubah	Suhu/Konsentrasi	Waktu Reaksi	Laju Relatif	Pola Data	Penjelasan

AI dapat membantu membuat tabel. Prompt:

"Buat tabel pengamatan untuk LKPD praktikum inkuiri tentang pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Tabel harus memuat prediksi, data hasil, rata-rata, laju relatif, pola, dan ruang penjelasan konsep."

Tabel yang baik membantu siswa melihat hubungan antara data dan kesimpulan.

6.5.10 AI untuk Menyusun Pertanyaan Analisis Berbasis Data

Pertanyaan analisis adalah inti LKPD inkuiri. Pertanyaan harus mendorong siswa menggunakan data, bukan hanya mengulang teori. AI dapat membantu membuat pertanyaan analisis bertingkat dari pemahaman dasar hingga HOTS.

Contoh prompt:

"Buat pertanyaan analisis berbasis data untuk LKPD praktikum laju reaksi. Pertanyaan harus mencakup membaca data, mengidentifikasi pola, menjelaskan dengan teori tumbukan, mengevaluasi variabel kontrol, mengidentifikasi sumber kesalahan, dan menyusun kesimpulan berbasis bukti."

Contoh pertanyaan:

1. Percobaan mana yang menghasilkan waktu reaksi paling singkat?
2. Bagaimana hubungan suhu dengan waktu reaksi berdasarkan data?
3. Bagaimana hubungan suhu dengan laju relatif?
4. Data apa yang paling mendukung hipotesis Anda?
5. Jelaskan hasil dengan teori tumbukan.
6. Apakah ada data yang menyimpang dari pola? Apa kemungkinan penyebabnya?
7. Apakah kesimpulan Anda didukung oleh semua data?
8. Jika percobaan diulang, apa yang perlu diperbaiki?

Pertanyaan semacam ini melatih argumentasi ilmiah. Siswa harus menyebut data sebagai bukti.

6.5.11 AI untuk Mengintegrasikan Representasi Kimia dalam LKPD

LKPD praktikum kimia harus menghubungkan representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. AI dapat membantu menyusun bagian representasi kimia. Misalnya, setelah praktikum pengendapan, siswa diminta menulis pengamatan, menggambar ion dalam larutan, dan menulis persamaan ion bersih.

Prompt:

"Tambahkan bagian representasi kimia pada LKPD reaksi pengendapan. Siswa harus menuliskan pengamatan makroskopik, menggambar diagram ion sebelum dan sesudah reaksi, menulis persamaan molekul, persamaan ion lengkap, dan persamaan ion bersih."

Untuk elektrolit:

"Siswa harus menggambar model partikel larutan NaCl, CH_3COOH, dan gula berdasarkan hasil uji daya hantar."

Untuk asam-basa:

“Siswa harus menghubungkan warna indikator dengan sifat larutan dan menulis penjelasan partikel secara sederhana.”

Bagian representasi ini penting karena tanpa hubungan antarlevel, praktikum dapat menjadi pengalaman empiris yang tidak terhubung dengan teori.

6.5.12 AI untuk Menyusun Pertanyaan HOTS dalam LKPD Praktikum

Pertanyaan HOTS dalam LKPD praktikum dapat mendorong siswa menganalisis, mengevaluasi, dan merancang. AI dapat membantu membuat pertanyaan yang lebih mendalam.

Contoh pertanyaan HOTS:

1. Jika hasil kelompok Anda berbeda dari kelompok lain, data apa yang perlu diperiksa terlebih dahulu?
2. Bagaimana Anda merancang percobaan lanjutan untuk menguji faktor lain?
3. Apakah kesimpulan “semua zat larut menghantarkan listrik” didukung oleh data? Jelaskan.
4. Bagaimana cara memperbaiki prosedur agar data lebih akurat?
5. Jika alat yang digunakan kurang sensitif, bagaimana pengaruhnya terhadap hasil?
6. Apakah simulasi virtual memberikan hasil yang sama dengan praktikum nyata? Mengapa bisa berbeda?
7. Bagaimana Anda membedakan kesalahan prosedur dan miskonsepsi konsep dari jawaban siswa?

Prompt:

“Buat 10 pertanyaan HOTS untuk LKPD praktikum berbasis inkuiri tentang larutan elektrolit. Pertanyaan harus menuntut analisis data, evaluasi klaim, desain percobaan lanjutan, dan refleksi miskonsepsi.”

Pertanyaan HOTS harus tetap sesuai jenjang. Jangan membuat pertanyaan terlalu abstrak untuk siswa pemula.

6.5.13 AI untuk Menyusun Refleksi Miskonsepsi

LKPD inkuiri dapat memuat bagian refleksi miskonsepsi. Bagian ini membantu siswa membandingkan prediksi awal dengan hasil dan memperbaiki pemahaman. AI dapat membantu menyusun pertanyaan reflektif.

Contoh pada elektrolit:

1. Apakah prediksi Anda tentang larutan gula sesuai hasil?
2. Jika gula larut dalam air tetapi tidak menghantarkan listrik, apa artinya tentang partikel gula dalam larutan?

3. Apakah daya hantar listrik disebabkan oleh elektron bebas dalam air atau ion bebas? Jelaskan.
4. Konsep apa yang berubah dari pemahaman awal Anda?

Prompt:

“Buat bagian refleksi miskonsepsi untuk LKPD praktikum elektrolit. Fokus pada miskonsepsi bahwa semua zat larut menghantarkan listrik dan bahwa elektron bebas bergerak dalam larutan.”

Refleksi miskonsepsi sangat penting karena siswa sering mempertahankan gagasan awal meskipun data bertentangan. Pertanyaan reflektif membantu mereka merevisi model mental.

6.5.14 AI untuk Menyusun Kesimpulan Berbasis Bukti

Kesimpulan praktikum harus berdasarkan data, bukan hanya teori. AI dapat membantu membuat format kesimpulan berbasis bukti. Format sederhana:

“Berdasarkan data …, dapat disimpulkan bahwa … karena ….”

Contoh:

“Berdasarkan data nyala lampu terang pada larutan NaCl dan tidak menyala pada larutan gula, dapat disimpulkan bahwa tidak semua zat yang larut dalam air menghantarkan listrik. Larutan menghantarkan listrik jika mengandung ion bebas yang dapat bergerak.”

Prompt:

“Buat panduan menulis kesimpulan berbasis bukti untuk LKPD praktikum laju reaksi. Panduan harus meminta siswa menyebut data, pola, konsep, dan batas kesimpulan.”

Panduan:

1. Sebutkan data utama.
2. Jelaskan pola.
3. Hubungkan dengan konsep.
4. Nyatakan apakah hipotesis didukung.
5. Sebutkan keterbatasan data jika ada.

Dengan panduan ini, kesimpulan siswa lebih ilmiah.

6.5.15 AI untuk Menyusun Rubrik LKPD Praktikum Inkuiri

LKPD praktikum berbasis inkuiri perlu dinilai dengan rubrik yang menilai proses berpikir, bukan hanya jawaban benar. AI dapat membantu menyusun rubrik.

Aspek rubrik dapat mencakup:

1. Prediksi dan hipotesis.
2. Identifikasi variabel.
3. Ketaatan K3.
4. Ketepatan pengamatan.
5. Kelengkapan data.
6. Analisis data.
7. Representasi kimia.
8. Kesimpulan berbasis bukti.
9. Refleksi miskonsepsi.
10. Kerja sama.

Prompt:

"Buat rubrik analitik skala 1–4 untuk menilai LKPD praktikum berbasis inkuiri tentang laju reaksi. Aspek penilaian: hipotesis, variabel, data, grafik, analisis teori tumbukan, kesimpulan berbasis bukti, refleksi, dan K3. Deskriptor harus operasional."

Rubrik membantu guru memberi umpan balik yang lebih jelas. Siswa juga dapat menggunakan rubrik sebelum praktikum agar memahami standar kualitas.

6.5.16 AI untuk Mengembangkan LKPD Inkuiri Diferensiatif

LKPD dapat dirancang dengan diferensiasi. AI dapat membantu membuat pertanyaan bertingkat. Dalam satu LKPD, guru dapat menyediakan pertanyaan dasar, menengah, dan lanjut.

Contoh pada indikator asam-basa:

- Dasar: "Larutan mana yang bersifat asam berdasarkan perubahan warna?"
- Menengah: "Bagaimana hubungan perubahan warna dengan pH?"
- Lanjut: "Mengapa indikator alami tidak selalu memberikan nilai pH yang presisi?"

Prompt:

"Buat LKPD praktikum indikator asam-basa berbasis inkuiri dengan pertanyaan diferensiatif tingkat dasar, menengah, dan lanjut. Semua siswa melakukan praktikum yang sama, tetapi pertanyaan analisis dibuat bertingkat."

Diferensiasi membantu siswa dengan kemampuan berbeda tetap terlibat. Guru dapat memberi pertanyaan lanjut sebagai pengayaan.

6.5.17 AI untuk Mengintegrasikan Virtual Laboratory dalam LKPD Inkuiri

LKPD inkuiri dapat menggabungkan praktikum nyata dan virtual laboratory. Virtual lab dapat digunakan sebelum praktikum untuk prediksi atau setelah praktikum untuk membandingkan data.

Contoh prompt:

“Buat LKPD inkuiri gabungan praktikum nyata dan virtual laboratory tentang laju reaksi. Tahap 1: siswa melakukan simulasi pengaruh suhu. Tahap 2: siswa melakukan praktikum nyata sederhana. Tahap 3: siswa membandingkan data simulasi dan data nyata. Sertakan pertanyaan analisis dan refleksi.”

Struktur ini membantu siswa memahami perbedaan model ideal dan data nyata. Pertanyaan refleksi dapat berupa:

1. Apakah pola data simulasi dan praktikum nyata sama?
2. Apa perbedaan antara keduanya?
3. Apa sumber ketidakpastian dalam praktikum nyata?
4. Apa keterbatasan simulasi?
5. Apa kesimpulan yang paling kuat berdasarkan kedua sumber data?

Integrasi ini sangat baik untuk membangun literasi model dan literasi data.

6.5.18 AI untuk Menyusun LKPD Praktikum dengan Bahan Sederhana

AI dapat membantu guru membuat LKPD praktikum berbasis bahan sederhana. Ini penting bagi sekolah dengan fasilitas terbatas. Namun, kesederhanaan bahan tidak boleh mengurangi keselamatan dan validitas konsep.

Prompt:

“Buat LKPD praktikum berbasis inkuiri tentang indikator asam-basa menggunakan indikator alami dari kol ungu atau bunga berwarna. Gunakan bahan yang relatif aman, prosedur sederhana, K3, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, kesimpulan, dan refleksi.”

LKPD dengan bahan sederhana tetap dapat memuat inkuiri:

- Siswa memprediksi warna indikator dalam beberapa larutan.
- Siswa menguji larutan.
- Siswa mengelompokkan larutan.
- Siswa membandingkan hasil dengan prediksi.
- Siswa mendiskusikan keterbatasan indikator alami.

Guru harus memastikan bahan tidak mengandung campuran berbahaya. Hindari penggunaan bahan pembersih yang tidak jelas komposisinya atau campuran yang dapat menghasilkan gas berbahaya.

6.5.19 Validasi LKPD Praktikum Berbasis AI

LKPD yang dihasilkan AI harus divalidasi sebelum digunakan. Validasi mencakup:

1. Apakah tujuan pembelajaran jelas?
2. Apakah fenomena pemantik relevan?

3. Apakah pertanyaan investigatif dapat diuji?
4. Apakah hipotesis sesuai variabel?
5. Apakah variabel bebas, terikat, dan kontrol benar?
6. Apakah alat-bahan aman dan tersedia?
7. Apakah prosedur aman dan realistis?
8. Apakah K3 spesifik?
9. Apakah tabel data sesuai tujuan?
10. Apakah pertanyaan analisis berbasis data?
11. Apakah representasi kimia akurat?
12. Apakah kesimpulan diarahkan berbasis bukti?
13. Apakah refleksi miskonsepsi relevan?
14. Apakah rubrik operasional?
15. Apakah waktu cukup?
16. Apakah limbah dikelola?
17. Apakah penggunaan AI etis?

Prompt validasi:

"Tinjau LKPD praktikum berbasis inkuiri berikut. Evaluasi tujuan, fenomena, pertanyaan investigatif, hipotesis, variabel, alat-bahan, K3, prosedur, data, analisis, representasi kimia, kesimpulan, refleksi, rubrik, waktu, limbah, dan potensi miskonsepsi. Berikan revisi konkret."

Validasi sebaiknya dilakukan oleh guru, sejawat, atau laboran. Jika LKPD digunakan untuk penelitian, validasi ahli diperlukan.

6.5.20 Prinsip Akhir Pengembangan LKPD Inkuiri Berbantuan AI

Pengembangan LKPD praktikum berbasis inkuiri dengan AI perlu mengikuti prinsip akhir berikut. Pertama, AI digunakan untuk membantu merancang, bukan menggantikan pertimbangan guru. Kedua, LKPD harus dimulai dari fenomena dan pertanyaan investigatif. Ketiga, LKPD harus mengarahkan siswa menyusun prediksi, hipotesis, dan variabel. Keempat, prosedur harus aman dan sesuai jenjang. Kelima, data harus menjadi dasar kesimpulan. Keenam, analisis harus menghubungkan data dengan konsep kimia. Ketujuh, representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik perlu diintegrasikan. Kedelapan, LKPD harus memuat refleksi miskonsepsi. Kesembilan, rubrik harus menilai proses ilmiah. Kesepuluh, seluruh LKPD harus divalidasi sebelum digunakan.

Dengan demikian, AI dapat sangat membantu pengembangan LKPD praktikum berbasis inkuiri. AI dapat mempercepat penyusunan struktur, memperkaya pertanyaan, membuat rubrik, menyediakan diferensiasi, dan mengintegrasikan virtual laboratory. Namun, kualitas LKPD tetap bergantung pada kemampuan guru dalam mengarahkan, menyunting, memvalidasi, dan menggunakannya dalam pembelajaran. LKPD inkuiri berbantuan AI yang baik harus membuat siswa berpikir, mengamati, menguji, menganalisis, menyimpulkan, dan merefleksikan konsep kimia secara ilmiah.

6.6 AI untuk Analisis Data Praktikum

Analisis data praktikum merupakan tahap penting dalam pembelajaran kimia karena data yang diperoleh dari eksperimen tidak memiliki makna ilmiah jika tidak diolah, ditafsirkan, dan dihubungkan dengan konsep. Praktikum kimia tidak berhenti pada pengamatan perubahan warna, terbentuknya endapan, munculnya gelembung gas, perubahan suhu, nyala lampu, nilai pH, atau angka volume titrasi. Semua data tersebut harus dianalisis agar peserta didik dapat membuat klaim ilmiah yang didukung bukti dan penalaran. Dengan demikian, analisis data menjadi jembatan antara kegiatan laboratorium dan pemahaman konsep kimia.

AI dapat membantu guru dan peserta didik dalam analisis data praktikum melalui berbagai cara. AI dapat membantu merapikan tabel, menghitung rata-rata, mengidentifikasi pola, menyarankan grafik yang sesuai, membantu membaca tren, menjelaskan kemungkinan sumber kesalahan, membuat pertanyaan reflektif, dan memberi umpan balik terhadap kesimpulan siswa. Dalam konteks pembelajaran, AI dapat berperan sebagai asisten analisis yang membantu siswa berpikir lebih sistematis. Namun, AI tidak boleh menggantikan proses berpikir ilmiah siswa. Data tetap harus berasal dari pengamatan nyata, bukan dibuat oleh AI. Kesimpulan tetap harus dikaitkan dengan data, bukan sekadar mengikuti jawaban AI.

Dalam praktikum kimia, data dapat berbentuk kuantitatif maupun kualitatif. Data kuantitatif meliputi massa, volume, suhu, waktu, pH, konsentrasi, absorbansi, tegangan, arus, atau konduktivitas. Data kualitatif meliputi warna, bau yang diamati secara aman, adanya endapan, gelembung, perubahan kejernihan, nyala lampu, atau tekstur. Keduanya sama-sama penting. AI dapat membantu mengolah data kuantitatif secara matematis dan membantu mengklasifikasi data kualitatif secara lebih terstruktur. Namun, guru harus memastikan bahwa analisis tidak melampaui kualitas data. Data sederhana di laboratorium sekolah tidak boleh digunakan untuk membuat klaim yang terlalu luas.

6.6.1 Analisis Data sebagai Inti Praktikum Ilmiah

Analisis data adalah proses mengubah hasil pengamatan menjadi informasi ilmiah. Dalam praktikum, siswa sering mengumpulkan data tetapi belum mampu menafsirkan maknanya. Misalnya, siswa mencatat bahwa waktu reaksi pada suhu 30°C adalah 80 detik, pada 40°C adalah 55 detik, dan pada 50°C adalah 35 detik. Data tersebut baru bermakna ketika siswa menyimpulkan bahwa kenaikan suhu mempercepat reaksi karena waktu reaksi menurun dan laju relatif meningkat. Kesimpulan ini kemudian perlu dijelaskan dengan teori tumbukan.

AI dapat membantu siswa bergerak dari data menuju interpretasi. Namun, guru perlu merancang prompt atau pertanyaan yang mendorong penalaran. Contoh prompt untuk siswa:

“Berdasarkan data praktikum berikut, bantu saya mengidentifikasi pola umum. Jangan langsung menulis kesimpulan akhir. Berikan pertanyaan pemandu agar saya dapat menyimpulkan sendiri hubungan antara suhu dan laju reaksi.”

Prompt seperti ini lebih baik daripada “buatkan kesimpulan praktikum saya”, karena mendorong AI menjadi fasilitator berpikir, bukan penulis jawaban. Dalam pembelajaran, siswa perlu dilatih

bahwa analisis data mencakup beberapa langkah: merapikan data, memeriksa kelengkapan, menghitung jika diperlukan, membuat grafik, mengidentifikasi pola, membandingkan dengan hipotesis, menjelaskan dengan konsep, mengevaluasi kesalahan, dan menyusun kesimpulan berbasis bukti.

6.6.2 AI untuk Merapikan dan Mengorganisasi Data Praktikum

Langkah pertama analisis data adalah mengorganisasi data. Banyak siswa mencatat data secara tidak rapi sehingga sulit dianalisis. AI dapat membantu menyusun data ke dalam tabel yang lebih sistematis. Misalnya, data praktikum laju reaksi dapat diatur berdasarkan variabel bebas, hasil pengukuran, rata-rata, dan catatan.

Contoh prompt:

“Susun data praktikum berikut menjadi tabel yang rapi. Kolom harus memuat suhu, waktu reaksi percobaan 1, waktu reaksi percobaan 2, rata-rata waktu, laju relatif, dan catatan pengamatan. Jangan mengubah data asli.”

Prompt tersebut penting karena menegaskan bahwa AI tidak boleh mengubah data. Data asli harus dipertahankan. AI hanya membantu mengorganisasi.

Dalam praktikum kualitatif, AI dapat membantu membuat kategori. Misalnya, pada uji elektrolit, data “lampu terang”, “lampu redup”, dan “lampu tidak menyala” dapat diklasifikasikan menjadi elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit. Namun, klasifikasi harus tetap berdasarkan kriteria yang jelas dan disetujui guru.

Contoh prompt:

“Berdasarkan data uji elektrolit berikut, bantu susun tabel klasifikasi larutan. Gunakan kriteria: lampu terang dan banyak gelembung = elektrolit kuat; lampu redup/sedikit gelembung = elektrolit lemah; lampu tidak menyala dan tidak ada gelembung = nonelektrolit. Jangan menambahkan data baru.”

Dengan demikian, AI berperan membantu keteraturan data, bukan mengganti pengamatan.

6.6.3 AI untuk Menghitung Rata-Rata, Selisih, dan Laju Relatif

Dalam banyak praktikum, siswa perlu melakukan perhitungan sederhana. AI dapat membantu menghitung rata-rata, selisih, persentase, laju relatif, atau konsentrasi. Namun, siswa tetap perlu memahami makna perhitungan tersebut.

Pada praktikum laju reaksi, jika waktu reaksi digunakan sebagai indikator, siswa dapat menghitung laju relatif dengan rumus sederhana:

laju relatif = 1 / waktu reaksi

Jika waktu reaksi makin kecil, laju relatif makin besar. AI dapat membantu menghitung, tetapi guru harus menjelaskan bahwa laju relatif ini merupakan pendekatan sederhana untuk pembelajaran, bukan laju reaksi formal dalam satuan konsentrasi per waktu.

Contoh prompt:

"Hitung rata-rata waktu reaksi dan laju relatif dari data berikut. Gunakan laju relatif = 1/waktu rata-rata. Tampilkan langkah perhitungan dan jangan membulatkan terlalu awal."

AI juga dapat membantu menghitung persentase kesalahan jika nilai acuan tersedia. Misalnya, dalam titrasi, siswa dapat membandingkan konsentrasi hasil percobaan dengan konsentrasi standar. Namun, guru harus menjelaskan bahwa kesalahan relatif bergantung pada kualitas data, alat, dan prosedur.

Untuk siswa, penting memahami bahwa perhitungan bukan tujuan akhir. Angka yang dihitung harus ditafsirkan. Rata-rata membantu mengurangi pengaruh variasi acak. Selisih membantu melihat perubahan. Grafik membantu melihat pola. Persentase kesalahan membantu mengevaluasi ketelitian.

6.6.4 AI untuk Membuat Grafik Data Praktikum

Grafik merupakan alat penting dalam analisis data. Grafik membantu siswa melihat pola yang mungkin tidak jelas dari tabel. AI dapat membantu menentukan jenis grafik yang sesuai. Data hubungan dua variabel kuantitatif biasanya cocok dibuat grafik garis atau titik. Data kategori dapat dibuat diagram batang. Data perubahan terhadap waktu dapat dibuat grafik waktu.

Contoh prompt:

"Data praktikum saya memuat suhu dan waktu reaksi. Grafik apa yang paling sesuai? Jelaskan alasan pilihan grafik dan apa yang harus ditempatkan pada sumbu x dan sumbu y."

AI dapat menjawab bahwa suhu sebagai variabel bebas diletakkan pada sumbu x, sedangkan waktu reaksi atau laju relatif sebagai variabel terikat diletakkan pada sumbu y. Jika menggunakan waktu reaksi, grafik dapat menunjukkan waktu menurun saat suhu meningkat. Jika menggunakan laju relatif, grafik dapat menunjukkan laju meningkat saat suhu meningkat.

Guru perlu melatih siswa membaca grafik:

1. Apa variabel pada sumbu x?
2. Apa variabel pada sumbu y?
3. Apakah grafik naik, turun, atau tidak menunjukkan pola?
4. Apakah ada titik data yang menyimpang?
5. Apa makna pola tersebut secara kimia?
6. Apakah grafik mendukung hipotesis?

AI dapat membantu membuat pertanyaan membaca grafik, tetapi siswa harus tetap menghubungkan grafik dengan konsep.

6.6.5 AI untuk Mengidentifikasi Pola Data

Setelah data rapi dan grafik dibuat, siswa perlu mengidentifikasi pola. AI dapat membantu menemukan pola umum, tetapi siswa harus memverifikasi dengan data. Contoh pola dalam praktikum kimia:

- Suhu naik, waktu reaksi turun.
- Konsentrasi naik, laju reaksi naik.
- Luas permukaan lebih besar, reaksi lebih cepat.
- Larutan dengan ion bebas menyalakan lampu.
- pH rendah menunjukkan larutan asam.
- Volume titran mendekati titik akhir meningkat secara sistematis.
- Absorbansi meningkat ketika konsentrasi meningkat dalam rentang tertentu.

Prompt yang baik:

“Berdasarkan tabel berikut, pola apa yang tampak? Sebutkan data spesifik yang mendukung pola tersebut dan berikan kemungkinan penjelasan kimianya.”

Prompt ini meminta AI menyebut bukti, bukan hanya kesimpulan. Siswa dapat membandingkan jawaban AI dengan data. Jika AI menyebut pola yang tidak didukung data, siswa harus mengoreksinya.

Dalam pembelajaran, guru dapat meminta siswa menulis kalimat pola:

“Ketika … meningkat, … cenderung ….”

Contoh:

“Ketika suhu meningkat, waktu reaksi cenderung menurun, sehingga laju reaksi meningkat.”

Kalimat pola kemudian dihubungkan dengan konsep.

6.6.6 AI untuk Membantu Interpretasi Data Kualitatif

Tidak semua data praktikum berupa angka. Banyak praktikum kimia menghasilkan data kualitatif seperti warna, endapan, gelembung, bau yang diamati secara aman, perubahan kejernihan, atau nyala lampu. AI dapat membantu mengorganisasi dan menafsirkan data kualitatif, tetapi interpretasi harus berdasarkan konsep.

Contoh pada praktikum reaksi pengendapan:

Data:

- Larutan A + larutan B menghasilkan endapan putih.
- Larutan A + larutan C tidak menghasilkan endapan.
- Larutan B + larutan D menghasilkan endapan kuning.

AI dapat membantu menyusun tabel kemungkinan reaksi, tetapi guru perlu memastikan identitas ion dan aturan kelarutan benar.

Prompt:

"Bantu analisis data kualitatif reaksi pengendapan berikut. Susun tabel pengamatan, identifikasi pasangan larutan yang membentuk endapan, dan jelaskan kemungkinan ion yang bereaksi. Jangan membuat klaim jika data tidak cukup."

Kalimat "jangan membuat klaim jika data tidak cukup" penting agar AI tidak berspekulasi berlebihan.

Pada uji elektrolit, AI dapat membantu menghubungkan nyala lampu dengan jumlah ion bebas. Namun, guru harus menjelaskan bahwa nyala lampu dipengaruhi juga oleh sensitivitas alat, konsentrasi larutan, jarak elektroda, dan kondisi rangkaian. Data kualitatif harus ditafsirkan dengan hati-hati.

6.6.7 AI untuk Membandingkan Data dengan Hipotesis

Salah satu bagian penting analisis adalah membandingkan data dengan hipotesis awal. Hipotesis dapat didukung, sebagian didukung, atau tidak didukung. Dalam sains, hipotesis yang tidak didukung bukan kegagalan, tetapi bagian dari proses belajar. AI dapat membantu siswa menulis evaluasi hipotesis secara lebih ilmiah.

Prompt:

"Berdasarkan data berikut dan hipotesis awal ini, bantu saya mengevaluasi apakah hipotesis didukung oleh data. Tunjukkan data yang mendukung atau tidak mendukung, dan jangan mengubah data."

Contoh evaluasi:

"Hipotesis bahwa suhu lebih tinggi mempercepat reaksi didukung oleh data. Pada 30°C, waktu reaksi rata-rata 80 detik; pada 40°C, 55 detik; dan pada 50°C, 35 detik. Karena waktu reaksi menurun ketika suhu meningkat, laju reaksi relatif meningkat."

Jika ada data menyimpang, kesimpulan harus lebih hati-hati:

"Secara umum data mendukung hipotesis, tetapi percobaan pada 40°C memiliki hasil yang menyimpang dibanding pengulangan lain. Hal ini perlu diperiksa sebagai kemungkinan kesalahan pengukuran atau perbedaan prosedur."

AI dapat membantu membuat kalimat ilmiah, tetapi siswa perlu memastikan sesuai data.

6.6.8 AI untuk Mengidentifikasi Data Menyimpang

Data menyimpang atau *outlier* dapat muncul dalam praktikum. Data menyimpang tidak boleh langsung dihapus tanpa alasan. Siswa perlu memeriksa kemungkinan penyebabnya. AI dapat membantu mengidentifikasi data yang tampak berbeda dari pola umum, tetapi keputusan untuk mengabaikan atau mempertahankan data harus didasarkan pada alasan ilmiah dan arahan guru.

Prompt:

"Periksa data praktikum berikut. Apakah ada data yang tampak menyimpang dari pola umum? Jelaskan kemungkinan penyebabnya, tetapi jangan menghapus data tanpa alasan."

Kemungkinan penyebab data menyimpang:

1. Kesalahan membaca skala.
2. Keterlambatan menekan stopwatch.
3. Volume larutan tidak sama.
4. Suhu tidak stabil.
5. Alat belum bersih.
6. Larutan terkontaminasi.
7. Pengadukan tidak konsisten.
8. Kesalahan pencatatan.
9. Reaksi belum selesai saat dicatat.
10. Alat ukur kurang sensitif.

Guru perlu mengajarkan bahwa data menyimpang adalah kesempatan untuk memahami kualitas eksperimen. Siswa harus menulis alasan jika mengecualikan data. Dalam banyak praktikum sekolah, data menyimpang sebaiknya tetap dilaporkan dan dibahas sebagai bagian dari sumber kesalahan.

6.6.9 AI untuk Analisis Sumber Kesalahan Eksperimen

Analisis sumber kesalahan merupakan bagian penting dalam laporan praktikum. Banyak siswa menulis sumber kesalahan secara umum, seperti "kurang teliti", tanpa menjelaskan bagaimana kesalahan memengaruhi data. AI dapat membantu membuat analisis yang lebih spesifik.

Prompt:

"Bantu identifikasi kemungkinan sumber kesalahan pada praktikum titrasi asam-basa berikut. Untuk setiap sumber kesalahan, jelaskan dampaknya terhadap hasil konsentrasi yang dihitung. Gunakan bahasa siswa SMA/mahasiswa awal."

Contoh sumber kesalahan titrasi:

- Gelembung udara di ujung buret dapat menyebabkan volume titran terbaca tidak akurat.
- Titran ditambahkan terlalu banyak setelah titik akhir sehingga volume titran lebih besar dari seharusnya.
- Erlenmeyer tidak dibilas dengan air suling sehingga ada kontaminan.
- Pembacaan meniskus tidak sejajar mata menyebabkan kesalahan volume.
- Indikator terlalu banyak dapat sedikit memengaruhi hasil pada kondisi tertentu.

Analisis yang baik menjelaskan hubungan sebab-akibat. Tidak cukup menyebut "human error". Siswa harus menjelaskan bagaimana kesalahan itu memengaruhi data.

AI dapat membantu menyusun tabel:

Sumber Kesalahan	Dampak pada Data	Dampak pada Kesimpulan	Perbaikan

Tabel ini membantu siswa berpikir lebih sistematis.

6.6.10 AI untuk Membantu Analisis Ketidakpastian Sederhana

Pada tingkat lanjut, siswa dapat diperkenalkan pada ketidakpastian pengukuran. Ketidakpastian dapat berasal dari batas ketelitian alat, variasi pengulangan, atau kesalahan pembacaan. Untuk SMA, konsep ini dapat dikenalkan secara sederhana melalui pengulangan dan rentang data. Untuk perguruan tinggi, dapat ditambah simpangan baku, ketidakpastian relatif, atau propagasi ketidakpastian sederhana.

AI dapat membantu menjelaskan ketidakpastian dengan bahasa sesuai jenjang. Prompt:

"Jelaskan konsep ketidakpastian pengukuran dalam praktikum kimia untuk siswa SMA. Gunakan contoh pengukuran volume dengan gelas ukur dan buret. Jelaskan mengapa pengulangan penting dan bagaimana menulis rata-rata sederhana."

Untuk mahasiswa:

"Bantu hitung rata-rata, simpangan baku, dan simpangan baku relatif dari data titrasi berikut. Tampilkan langkah perhitungan dan interpretasi kualitas data."

AI dapat membantu perhitungan statistik sederhana, tetapi guru harus memastikan siswa memahami maknanya. Ketidakpastian bukan sekadar angka tambahan, tetapi menunjukkan tingkat kepercayaan terhadap data.

6.6.11 AI untuk Menghubungkan Data dengan Konsep Kimia

Analisis data harus selalu dihubungkan dengan konsep kimia. Data tanpa konsep hanya menjadi angka. Konsep tanpa data hanya menjadi hafalan. AI dapat membantu membuat hubungan tersebut eksplisit.

Contoh prompt:

“Hubungkan data praktikum uji elektrolit berikut dengan konsep ionisasi, elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit. Gunakan data sebagai bukti dan hindari kesimpulan yang tidak didukung.”

Contoh jawaban yang diharapkan:

“Larutan NaCl menyalakan lampu terang karena NaCl terdisosiasi hampir sempurna menjadi ion Na^+ dan Cl^- dalam air. Banyaknya ion bebas memungkinkan arus listrik mengalir. Larutan CH_3COOH menghasilkan lampu redup karena hanya sebagian molekul terionisasi. Larutan gula tidak menyalakan lampu karena gula larut sebagai molekul netral.”

Untuk laju reaksi:

“Data menunjukkan waktu reaksi menurun saat suhu meningkat. Hal ini dapat dijelaskan dengan teori tumbukan: suhu lebih tinggi meningkatkan energi kinetik partikel sehingga frekuensi dan energi tumbukan efektif meningkat.”

Guru perlu mengajarkan siswa menulis analisis dengan pola: data → pola → konsep → kesimpulan.

6.6.12 AI untuk Membantu Menulis Klaim-Bukti-Penalaran

Model *claim-evidence-reasoning* atau klaim-bukti-penalaran sangat cocok untuk analisis data praktikum. Siswa diminta menulis klaim, mendukungnya dengan bukti data, dan menjelaskan dengan konsep kimia.

Struktur:

1. **Klaim**: jawaban terhadap pertanyaan investigatif.
2. **Bukti**: data yang mendukung klaim.
3. **Penalaran**: konsep kimia yang menjelaskan hubungan bukti dan klaim.

Contoh pada laju reaksi:

Klaim:
“Kenaikan suhu mempercepat reaksi.”

Bukti:
“Waktu reaksi menurun dari 80 detik pada 30°C menjadi 35 detik pada 50°C.”

Penalaran:
“Suhu yang lebih tinggi meningkatkan energi kinetik partikel sehingga tumbukan efektif lebih sering terjadi.”

AI dapat membantu membuat kerangka CER. Prompt:

“Bantu susun analisis data praktikum ini dalam format klaim-bukti-penalaran. Pastikan bukti berupa data spesifik dan penalaran menggunakan konsep kimia yang tepat.”

Model CER membantu mencegah kesimpulan yang tidak didukung data. Guru dapat menggunakan rubrik CER untuk menilai analisis siswa.

6.6.13 AI untuk Membantu Interpretasi Hasil yang Tidak Sesuai Teori

Dalam praktikum nyata, hasil tidak selalu sesuai teori. Ini bukan masalah selama data dicatat jujur dan dianalisis dengan baik. AI dapat membantu siswa menafsirkan hasil yang tidak sesuai tanpa memanipulasi data.

Prompt:

“Hasil praktikum saya tidak sesuai teori. Bantu saya menganalisis kemungkinan penyebab berdasarkan prosedur dan data berikut. Jangan mengubah data dan jangan membuat data baru.”

Kemungkinan penyebab dapat mencakup:

1. Variabel kontrol tidak terjaga.
2. Alat ukur kurang tepat.
3. Larutan tidak sesuai konsentrasi.
4. Reaksi belum selesai.
5. Pengamatan warna subjektif.
6. Elektroda kotor.
7. Suhu berubah selama percobaan.
8. Ada kontaminasi.
9. Pembacaan volume salah.
10. Jumlah pengulangan kurang.

Guru perlu menekankan bahwa laporan praktikum yang baik tidak harus selalu “sesuai teori”. Yang penting adalah analisis jujur, argumentatif, dan berbasis data. AI dapat membantu membuat bahasa analisis, tetapi tidak boleh digunakan untuk menyembunyikan ketidaksesuaian.

6.6.14 AI untuk Membantu Analisis Data Titrasi

Titrasi merupakan praktikum yang kaya data dan cocok untuk bantuan AI. Siswa harus mencatat volume awal dan akhir buret, menghitung volume titran, menentukan mol titran, menggunakan perbandingan stoikiometri, dan menghitung konsentrasi analit. Kesalahan kecil dalam volume dapat memengaruhi hasil.

AI dapat membantu memeriksa perhitungan. Prompt:

“Periksa perhitungan titrasi berikut. Data: volume asam, konsentrasi titran, volume titran, persamaan reaksi. Hitung konsentrasi analit langkah demi langkah dan periksa kemungkinan kesalahan satuan.”

Guru perlu memastikan siswa memahami langkah:

1. Hitung volume titran yang digunakan.
2. Ubah volume menjadi liter.
3. Hitung mol titran.
4. Gunakan perbandingan koefisien reaksi.
5. Hitung mol analit.
6. Hitung konsentrasi analit.
7. Bandingkan hasil pengulangan.

AI dapat membantu menandai kesalahan seperti lupa mengubah mL ke L, salah menggunakan rasio mol, atau salah membaca volume buret.

Namun, AI harus diberi data yang benar. Jika data salah, hasil perhitungan juga salah. Prinsip "garbage in, garbage out" perlu dijelaskan kepada siswa.

6.6.15 AI untuk Membantu Analisis Data Spektrofotometri Sederhana

Pada tingkat SMA lanjut atau perguruan tinggi, praktikum spektrofotometri dapat digunakan untuk menghubungkan absorbansi dan konsentrasi melalui hukum Beer-Lambert. AI dapat membantu menyusun tabel kalibrasi, membuat grafik, menentukan persamaan garis, dan menghitung konsentrasi sampel.

Namun, guru perlu memastikan siswa memahami bahwa hubungan linear berlaku dalam rentang tertentu dan dipengaruhi oleh kondisi instrumen, panjang lintasan, pelarut, dan konsentrasi. AI dapat membantu menjelaskan batasnya.

Prompt:

"Bantu analisis data spektrofotometri berikut. Buat tabel kalibrasi, tentukan hubungan absorbansi dan konsentrasi, jelaskan apakah data tampak linear, dan hitung konsentrasi sampel tak dikenal. Sertakan catatan keterbatasan."

Analisis dapat mencakup:

1. Plot konsentrasi vs absorbansi.
2. Persamaan garis kalibrasi.
3. Nilai R^2 jika tersedia.
4. Konsentrasi sampel.
5. Kemungkinan sumber kesalahan.
6. Batas interpretasi.

Untuk siswa, guru perlu menekankan bahwa grafik kalibrasi harus dibuat dari data standar yang valid. AI tidak boleh membuat data standar palsu.

6.6.16 AI untuk Membantu Analisis Data pH dan Asam-Basa

Praktikum asam-basa sering menghasilkan data pH atau perubahan warna indikator. AI dapat membantu mengklasifikasi larutan, membandingkan kekuatan asam-basa secara hati-hati, dan menafsirkan perubahan warna.

Prompt:

"Bantu analisis data pH beberapa larutan berikut. Klasifikasikan sebagai asam, netral, atau basa berdasarkan pH. Jelaskan batas interpretasi jika data hanya berasal dari indikator universal."

Guru perlu menekankan bahwa indikator universal memberi estimasi pH, bukan pengukuran sangat presisi. pH meter lebih akurat jika dikalibrasi, tetapi tetap memiliki ketidakpastian. Jika siswa menggunakan indikator alami, hasilnya lebih kualitatif.

AI juga dapat membantu membedakan asam kuat dan asam pekat. Data pH harus ditafsirkan bersama konsentrasi dan derajat ionisasi. Siswa sering menyamakan "kuat" dengan "pekat". Praktikum dan analisis data dapat membantu membedakan keduanya.

6.6.17 AI untuk Membantu Analisis Data Elektrolit

Dalam praktikum elektrolit, data dapat berupa nyala lampu, jumlah gelembung, nilai arus, atau konduktivitas. AI dapat membantu mengklasifikasi dan menjelaskan data.

Prompt:

"Analisis data uji elektrolit berikut. Klasifikasikan larutan menjadi elektrolit kuat, elektrolit lemah, atau nonelektrolit berdasarkan nyala lampu dan gelembung. Jelaskan dengan konsep ion bebas dan sebutkan keterbatasan alat sederhana."

Keterbatasan alat sederhana penting karena nyala lampu dipengaruhi oleh:

1. Konsentrasi larutan.
2. Jarak elektroda.
3. Jenis elektroda.
4. Tegangan sumber.
5. Sensitivitas lampu/LED.
6. Kebersihan elektroda.
7. Suhu larutan.
8. Kontaminasi antarlarutan.

AI dapat membantu membuat analisis yang lebih hati-hati. Misalnya, larutan yang tidak menyalakan lampu belum tentu benar-benar tidak mengandung ion; bisa saja konsentrasi ion sangat rendah atau alat tidak sensitif. Untuk pembelajaran SMA, klasifikasi tetap dapat dilakukan dengan kriteria praktikum yang jelas.

6.6.18 AI untuk Membantu Analisis Data Reaksi Pengendapan

Praktikum reaksi pengendapan menghasilkan data kualitatif berupa ada atau tidaknya endapan, warna endapan, dan kadang-kadang jumlah relatif endapan. AI dapat membantu mengorganisasi data dan menulis persamaan ion bersih. Namun, guru harus memvalidasi aturan kelarutan dan persamaan reaksi.

Prompt:

"Bantu analisis data reaksi pengendapan berikut. Untuk setiap pasangan larutan, tentukan apakah endapan terbentuk, tulis kemungkinan persamaan molekul, persamaan ion lengkap, dan persamaan ion bersih. Periksa keseimbangan atom dan muatan."

AI dapat membantu, tetapi harus dicek karena kesalahan pada kelarutan dan ion penonton sering terjadi. Siswa perlu memahami bahwa ion penonton tidak ikut dalam persamaan ion bersih.

Analisis pengendapan juga dapat dikaitkan dengan konsep kualitas air, identifikasi ion, atau reaksi analitik kualitatif. Namun, klaim harus sesuai data. Jika hanya satu uji dilakukan, siswa tidak boleh menyimpulkan identitas sampel secara mutlak tanpa uji pendukung.

6.6.19 AI untuk Memberi Umpan Balik terhadap Analisis Siswa

AI dapat digunakan guru untuk memberi umpan balik awal pada analisis siswa. Misalnya, siswa menulis kesimpulan, lalu AI membantu memeriksa apakah kesimpulan didukung data, apakah ada konsep yang salah, dan apakah sumber kesalahan dibahas.

Prompt untuk guru:

"Beri umpan balik terhadap analisis praktikum siswa berikut. Periksa apakah klaim didukung data, apakah konsep kimia benar, apakah sumber kesalahan spesifik, dan apakah kesimpulan terlalu luas. Berikan saran perbaikan tanpa menulis ulang seluruh jawaban."

Umpan balik yang baik bersifat formatif. Contoh:

- "Kesimpulan sudah sesuai pola data, tetapi belum menyebut angka spesifik sebagai bukti."
- "Penjelasan teori tumbukan masih umum. Hubungkan suhu dengan energi kinetik dan tumbukan efektif."
- "Sumber kesalahan 'kurang teliti' terlalu umum. Jelaskan bagian prosedur mana yang mungkin menyebabkan kesalahan."
- "Klaim tentang keamanan air terlalu luas karena data hanya pH."

AI dapat membantu mempercepat umpan balik, tetapi guru tetap perlu meninjau untuk memastikan keakuratan.

6.6.20 Etika Penggunaan AI dalam Analisis Data Praktikum

Penggunaan AI dalam analisis data harus mengikuti etika ilmiah. Siswa boleh menggunakan AI untuk membantu memahami cara menghitung, merapikan tabel, membuat grafik, atau mengembangkan pertanyaan reflektif. Namun, siswa tidak boleh menggunakan AI untuk membuat data palsu, mengubah data agar sesuai teori, menulis kesimpulan tanpa memahami data, atau menyembunyikan kesalahan.

Guru dapat menambahkan aturan penggunaan AI dalam LKPD:

1. Data harus berasal dari pengamatan nyata.
2. AI tidak boleh digunakan untuk membuat data praktikum.
3. Jika AI digunakan untuk membantu analisis, siswa harus mencatat bagian yang dibantu.
4. Semua hasil AI harus diverifikasi dengan data.
5. Kesimpulan harus ditulis berdasarkan pemahaman siswa.
6. Data yang tidak sesuai teori tetap harus dilaporkan.
7. Sumber kesalahan harus dianalisis secara jujur.

AI dapat membantu membuat format log penggunaan AI:

Bagian Analisis	Bantuan AI yang Digunakan	Data yang Dipakai	Cara Verifikasi

Dengan demikian, penggunaan AI menjadi transparan dan mendukung integritas ilmiah.

Dengan demikian, AI dapat membantu analisis data praktikum kimia melalui pengorganisasian data, perhitungan, pembuatan grafik, identifikasi pola, interpretasi data kualitatif, evaluasi hipotesis, analisis sumber kesalahan, penulisan klaim-bukti-penalaran, dan pemberian umpan balik formatif. Namun, AI harus digunakan secara etis dan kritis. Data praktikum harus tetap berasal dari pengamatan nyata, analisis harus berbasis bukti, dan kesimpulan harus sesuai dengan batas data. Guru berperan penting memastikan bahwa AI memperkuat literasi data dan penalaran ilmiah, bukan menggantikan kejujuran dan pemahaman siswa.

6.7 AI untuk Membantu Interpretasi Tabel, Grafik, dan Hasil Eksperimen

Interpretasi tabel, grafik, dan hasil eksperimen merupakan kompetensi penting dalam pembelajaran kimia karena data praktikum tidak otomatis bermakna tanpa proses penafsiran. Peserta didik dapat mengumpulkan data dengan benar, tetapi tetap mengalami kesulitan ketika harus menjelaskan pola, membandingkan variabel, membaca grafik, menghubungkan hasil dengan teori, atau menyusun kesimpulan berbasis bukti. Dalam banyak praktikum kimia, kesulitan utama bukan hanya pada pelaksanaan eksperimen, melainkan pada kemampuan mengubah data menjadi pemahaman ilmiah.

AI dapat membantu proses interpretasi data dengan memberi pertanyaan pemandu, membantu membaca pola, menjelaskan hubungan antarvariabel, mengidentifikasi kemungkinan data menyimpang, menyarankan bentuk grafik yang sesuai, serta membantu siswa menghubungkan hasil eksperimen dengan konsep kimia. Namun, bantuan AI harus diarahkan agar tidak mengambil

alih proses berpikir siswa. AI sebaiknya berperan sebagai **asisten penalaran**, bukan sebagai pembuat jawaban akhir. Peserta didik tetap harus menunjukkan data yang digunakan, menjelaskan alasan, dan menyusun interpretasi dengan bahasa sendiri.

Dalam pembelajaran kimia, interpretasi tabel dan grafik sangat berkaitan dengan literasi data. Literasi data mencakup kemampuan membaca data, memahami satuan, mengenali pola, membandingkan nilai, memahami hubungan variabel, menilai kualitas data, dan menarik kesimpulan yang tidak melampaui bukti. Kompetensi ini penting karena sains modern banyak bekerja dengan data. AI dapat memperkuat literasi data jika digunakan untuk membimbing siswa menanyakan hal yang tepat: “Apa yang berubah?”, “Apa yang tetap?”, “Pola apa yang muncul?”, “Data mana yang mendukung klaim?”, “Apakah ada penyimpangan?”, dan “Konsep kimia apa yang menjelaskan hasil tersebut?”

6.7.1 Pentingnya Interpretasi Data dalam Praktikum Kimia

Praktikum kimia selalu menghasilkan data, baik kualitatif maupun kuantitatif. Data kualitatif dapat berupa perubahan warna, endapan, gelembung gas, bau yang diamati secara aman, perubahan kejernihan, nyala lampu, atau perubahan wujud. Data kuantitatif dapat berupa massa, volume, waktu, suhu, pH, konsentrasi, tekanan, absorbansi, arus listrik, atau konduktivitas. Kedua jenis data tersebut perlu ditafsirkan agar menjadi informasi ilmiah.

Misalnya, dalam praktikum uji elektrolit, tabel pengamatan mungkin menunjukkan bahwa larutan NaCl membuat lampu menyala terang, larutan CH_3COOH membuat lampu menyala redup, dan larutan gula tidak menyalakan lampu. Data ini perlu ditafsirkan: NaCl tergolong elektrolit kuat karena menghasilkan banyak ion bebas; CH_3COOH tergolong elektrolit lemah karena hanya sebagian terionisasi; gula tergolong nonelektrolit karena larut sebagai molekul netral. Tanpa interpretasi, siswa hanya mengingat “lampu terang, redup, tidak menyala” tanpa memahami ionisasi.

Dalam praktikum laju reaksi, siswa mungkin memperoleh tabel suhu dan waktu reaksi. Data tersebut harus ditafsirkan sebagai hubungan antara suhu dan laju reaksi. Jika suhu meningkat dan waktu reaksi menurun, maka laju reaksi meningkat. Penjelasannya tidak cukup “karena panas mempercepat reaksi”; siswa perlu menghubungkannya dengan teori tumbukan: partikel bergerak lebih cepat, energi kinetik meningkat, dan tumbukan efektif lebih sering terjadi.

AI dapat membantu siswa menafsirkan data dengan cara bertahap. Namun, guru perlu memastikan bahwa setiap interpretasi selalu kembali pada data. Interpretasi yang baik harus menyebutkan data spesifik, pola, konsep, dan batas kesimpulan.

6.7.2 AI sebagai Asisten Literasi Data

AI dapat berperan sebagai asisten literasi data dalam praktikum kimia. Peran ini mencakup membantu siswa membaca tabel, menjelaskan arti kolom, mengenali satuan, mengurutkan nilai, membandingkan data, dan menemukan pola. Namun, AI tidak boleh digunakan untuk mengganti data atau membuat hasil praktikum fiktif. Data harus tetap berasal dari pengamatan siswa.

Contoh prompt yang baik untuk siswa:

“Bantu saya membaca tabel data praktikum berikut. Tunjukkan pola yang tampak, tetapi minta saya menyebutkan data mana yang mendukung pola tersebut sebelum membuat kesimpulan.”

Prompt ini membuat AI tidak langsung memberi kesimpulan final. AI dapat menjawab dengan pertanyaan pemandu, misalnya:

1. Nilai mana yang paling besar?
2. Nilai mana yang paling kecil?
3. Apakah perubahan variabel bebas diikuti perubahan variabel terikat?
4. Apakah semua data mengikuti pola yang sama?
5. Apakah ada data yang berbeda dari pola umum?

Dalam pembelajaran, guru dapat mengajarkan siswa menggunakan AI dengan model dialog. Siswa memasukkan data, AI memberi pertanyaan, siswa menjawab berdasarkan data, lalu AI membantu menyusun interpretasi. Dengan cara ini, AI mendukung proses belajar, bukan menggantikan proses berpikir.

6.7.3 AI untuk Membaca Tabel Praktikum

Tabel merupakan bentuk penyajian data yang paling umum dalam praktikum kimia. Namun, siswa sering hanya mengisi tabel tanpa membaca maknanya. AI dapat membantu siswa memahami isi tabel melalui pertanyaan sistematis.

Contoh tabel praktikum laju reaksi:

Suhu (°C)	Waktu Reaksi (s)
30	85
40	58
50	36

Pertanyaan interpretasi:

1. Apa variabel bebas pada tabel?
2. Apa variabel terikat?
3. Bagaimana perubahan waktu reaksi ketika suhu meningkat?
4. Apakah hubungan suhu dan waktu reaksi berbanding lurus atau berbanding terbalik?
5. Apa makna waktu reaksi yang lebih kecil?
6. Bagaimana konsep teori tumbukan menjelaskan data tersebut?

AI dapat membantu membuat pertanyaan seperti ini. Prompt:

“Buat pertanyaan pemandu untuk membantu siswa membaca tabel praktikum laju reaksi berikut. Pertanyaan harus bergerak dari membaca data, mengenali pola, sampai menjelaskan konsep.”

Interpretasi tabel harus selalu memperhatikan satuan. Suhu dalam °C, waktu dalam detik, volume dalam mL, konsentrasi dalam mol/L, dan massa dalam gram. Kesalahan satuan dapat menyebabkan kesalahan interpretasi. AI dapat membantu memeriksa satuan jika diminta.

6.7.4 AI untuk Membantu Membaca Grafik

Grafik membantu siswa melihat hubungan antarvariabel secara visual. Namun, membaca grafik membutuhkan keterampilan khusus. Siswa perlu memahami sumbu x, sumbu y, skala, satuan, pola garis, titik menyimpang, dan hubungan variabel. AI dapat membantu siswa membaca grafik dengan pertanyaan pemandu.

Pada grafik suhu terhadap laju relatif, sumbu x dapat menunjukkan suhu dan sumbu y menunjukkan laju relatif. Jika grafik naik, siswa perlu menafsirkan bahwa laju reaksi meningkat seiring kenaikan suhu. Namun, jika grafik menunjukkan suhu terhadap waktu reaksi, grafik mungkin menurun. Siswa harus memahami bahwa waktu reaksi yang menurun berarti laju meningkat.

AI dapat membantu mencegah salah tafsir. Prompt:

“Bantu saya menafsirkan grafik praktikum laju reaksi. Sumbu x adalah suhu, sumbu y adalah waktu reaksi. Grafik menurun ketika suhu meningkat. Jelaskan apa arti pola ini dan bagaimana menghubungkannya dengan laju reaksi.”

Jawaban yang baik harus menjelaskan bahwa waktu reaksi lebih singkat menunjukkan reaksi berlangsung lebih cepat. Karena itu, meskipun grafik waktu menurun, laju reaksi sebenarnya meningkat. Ini penting karena siswa sering mengira grafik menurun berarti “reaksi berkurang”, padahal bergantung pada variabel yang diplot.

AI juga dapat membantu siswa memilih grafik yang tepat. Untuk hubungan dua variabel kuantitatif, grafik titik atau garis biasanya sesuai. Untuk membandingkan kategori, diagram batang lebih sesuai. Untuk data perubahan waktu, grafik garis sering digunakan.

6.7.5 AI untuk Menentukan Jenis Grafik yang Sesuai

Pemilihan grafik yang tepat merupakan bagian penting dari interpretasi data. Kesalahan memilih grafik dapat mengaburkan pola. AI dapat membantu siswa menentukan jenis grafik berdasarkan jenis data.

Contoh:

- Data suhu dan waktu reaksi → grafik titik atau garis.
- Data jenis larutan dan pH → diagram batang atau tabel.
- Data konsentrasi dan absorbansi → grafik garis/titik dengan garis kalibrasi.
- Data waktu dan suhu selama pendinginan → grafik garis.
- Data kategori elektrolit kuat/lemah/nonelektrolit → tabel atau diagram batang.
- Data volume titran dan pH → kurva titrasi.

Prompt:

“Data saya terdiri atas jenis larutan dan nilai pH. Grafik apa yang paling tepat? Jelaskan alasan dan bagaimana menempatkan variabel pada sumbu.”

AI dapat membantu menjawab bahwa jenis larutan merupakan kategori, sehingga diagram batang dapat digunakan untuk membandingkan nilai pH antarlarutan. Jika siswa memiliki data berurutan atau kontinu, grafik garis mungkin lebih sesuai.

Guru perlu menekankan bahwa grafik bukan dekorasi laporan. Grafik harus membantu menjawab pertanyaan investigatif. Jika grafik tidak membantu melihat pola, maka jenis grafik perlu dipertimbangkan ulang.

6.7.6 AI untuk Membantu Menafsirkan Kurva Titrasi

Kurva titrasi merupakan grafik penting dalam praktikum asam-basa. Kurva ini menunjukkan perubahan pH terhadap volume titran yang ditambahkan. Membaca kurva titrasi membutuhkan pemahaman tentang titik awal, daerah buffer jika ada, titik ekuivalen, titik akhir, dan perubahan pH tajam.

AI dapat membantu siswa menafsirkan kurva titrasi. Prompt:

“Bantu saya menafsirkan kurva titrasi asam kuat-basa kuat. Jelaskan bagian awal kurva, perubahan pH bertahap, lonjakan pH dekat titik ekuivalen, titik ekuivalen, dan pemilihan indikator.”

Untuk asam kuat-basa kuat, titik ekuivalen berada sekitar pH 7 pada kondisi ideal. Untuk asam lemah-basa kuat, titik ekuivalen berada di atas pH 7 karena terbentuk basa konjugasi. Untuk basa lemah-asam kuat, titik ekuivalen berada di bawah pH 7. AI dapat membantu menjelaskan perbedaan ini, tetapi guru harus menyesuaikan dengan tingkat siswa.

Miskonsepsi yang perlu dihindari:

1. Titik akhir sama persis dengan titik ekuivalen dalam semua keadaan.
2. pH selalu 7 pada titik ekuivalen.
3. Indikator apa pun cocok untuk semua titrasi.
4. Kurva titrasi hanya menunjukkan warna, bukan perubahan pH.
5. Volume titran yang lebih besar selalu berarti asam lebih kuat.

AI dapat membantu membuat pertanyaan analisis kurva, tetapi guru perlu memvalidasi konsep.

6.7.7 AI untuk Membantu Menafsirkan Grafik Kalibrasi

Grafik kalibrasi sering digunakan dalam praktikum spektrofotometri atau analisis kuantitatif sederhana. Grafik ini menghubungkan konsentrasi standar dengan sinyal pengukuran, seperti absorbansi. Siswa menggunakan grafik tersebut untuk menentukan konsentrasi sampel tak dikenal.

AI dapat membantu menafsirkan grafik kalibrasi. Prompt:

“Bantu saya memahami grafik kalibrasi absorbansi terhadap konsentrasi. Jelaskan arti kemiringan garis, intersep, linearitas, dan cara menentukan konsentrasi sampel tak dikenal.”

Dalam hukum Beer-Lambert, absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi dalam rentang tertentu. Grafik yang baik menunjukkan hubungan linear. Namun, jika data tidak linear, siswa perlu mempertimbangkan kemungkinan konsentrasi terlalu tinggi, kesalahan pengukuran, instrumen belum dikalibrasi, atau larutan tidak homogen.

AI dapat membantu siswa menganalisis:

1. Apakah titik data membentuk garis lurus?
2. Apakah ada titik yang menyimpang?
3. Apakah persamaan garis masuk akal?
4. Apakah sampel tak dikenal berada dalam rentang standar?
5. Apakah kesimpulan konsentrasi tidak melampaui rentang kalibrasi?

Guru perlu menekankan bahwa ekstrapolasi di luar rentang standar harus dihindari atau ditafsirkan sangat hati-hati.

6.7.8 AI untuk Membantu Interpretasi Grafik Laju Reaksi

Grafik laju reaksi dapat berbentuk berbagai macam, tergantung data yang dikumpulkan. Siswa dapat membuat grafik konsentrasi terhadap waktu, waktu reaksi terhadap suhu, laju relatif terhadap suhu, atau laju reaksi terhadap konsentrasi. Setiap grafik memiliki interpretasi berbeda.

AI dapat membantu siswa memahami grafik tersebut. Contoh prompt:

“Data saya menunjukkan konsentrasi pereaksi menurun terhadap waktu. Jelaskan bagaimana membaca grafik ini dalam konteks laju reaksi.”

Interpretasi:
Jika konsentrasi pereaksi menurun terhadap waktu, reaksi menggunakan pereaksi. Kemiringan grafik menunjukkan perubahan konsentrasi per satuan waktu. Pada banyak reaksi, kemiringan lebih curam di awal karena konsentrasi pereaksi masih tinggi, kemudian melandai seiring pereaksi berkurang.

Untuk tingkat SMA, penjelasan dapat dibuat kualitatif. Untuk mahasiswa, dapat dibahas laju sesaat dan laju rata-rata. AI harus diarahkan sesuai jenjang.

Prompt jenjang SMA:

“Jelaskan grafik konsentrasi pereaksi terhadap waktu secara kualitatif untuk siswa SMA tanpa kalkulus.”

Prompt jenjang perguruan tinggi:

“Jelaskan cara menentukan laju rata-rata dari grafik konsentrasi terhadap waktu dan bagaimana laju sesaat berkaitan dengan kemiringan garis singgung.”

Dengan prompt yang tepat, AI dapat menyesuaikan kedalaman penjelasan.

6.7.9 AI untuk Membantu Interpretasi Grafik Kesetimbangan

Grafik kesetimbangan sering menunjukkan perubahan konsentrasi pereaksi dan produk terhadap waktu. Siswa perlu memahami bahwa saat konsentrasi menjadi konstan, sistem telah mencapai kesetimbangan dinamis. Konstan bukan berarti reaksi berhenti, melainkan laju reaksi maju dan balik sama.

AI dapat membantu membuat pertanyaan interpretasi:

“Buat pertanyaan pemandu untuk membaca grafik konsentrasi terhadap waktu pada kesetimbangan kimia. Pertanyaan harus membantu siswa memahami kapan kesetimbangan tercapai, apa arti konsentrasi konstan, dan mengapa reaksi tetap berlangsung.”

Pertanyaan:

1. Pada waktu berapa konsentrasi mulai konstan?
2. Apakah konsentrasi pereaksi dan produk harus sama saat setimbang?
3. Apa arti konsentrasi konstan?
4. Apakah reaksi berhenti saat setimbang?
5. Bagaimana grafik berubah jika pereaksi ditambahkan?
6. Bagaimana katalis memengaruhi waktu mencapai setimbang?

AI dapat membantu menafsirkan grafik, tetapi guru perlu memastikan bahwa konsep kesetimbangan dinamis ditekankan. Miskonsepsi bahwa reaksi berhenti sangat umum.

6.7.10 AI untuk Membantu Interpretasi Grafik pH

Grafik pH dapat digunakan dalam berbagai praktikum: titrasi, perubahan pH larutan penyangga, pengenceran asam-basa, atau pengukuran pH berbagai larutan. Membaca grafik pH membutuhkan pemahaman bahwa skala pH bersifat logaritmik. Perbedaan satu unit pH menunjukkan perubahan konsentrasi ion hidrogen sekitar sepuluh kali lipat.

AI dapat membantu menjelaskan skala pH dengan hati-hati. Prompt:

“Jelaskan kepada siswa SMA bahwa skala pH bersifat logaritmik. Gunakan contoh pH 3 dan pH 4. Jelaskan bahwa larutan pH 3 memiliki konsentrasi H^+ sekitar 10 kali lebih besar daripada pH 4.”

Dalam interpretasi grafik pH, siswa sering melihat perubahan pH sebagai perubahan linear biasa. Guru perlu menekankan makna skala. AI dapat membantu membuat pertanyaan:

1. Larutan mana yang paling asam?
2. Apakah selisih pH 1 berarti perbedaan kecil atau besar?
3. Bagaimana perubahan pH setelah penambahan sedikit asam pada larutan penyangga?
4. Mengapa pH tidak berubah drastis pada larutan buffer?

AI dapat membantu menjelaskan, tetapi guru harus menyesuaikan tingkat matematika siswa.

6.7.11 AI untuk Membantu Interpretasi Hasil Eksperimen Kualitatif

Tidak semua hasil eksperimen dapat ditampilkan dalam grafik. Banyak hasil berupa observasi kualitatif. AI dapat membantu menafsirkan hasil kualitatif jika kriteria analisis jelas.

Contoh praktikum pengendapan:

Campuran Larutan	Pengamatan
$AgNO_3$ + NaCl	Endapan putih
$BaCl_2$ + Na_2SO_4	Endapan putih
NaCl + KNO_3	Tidak ada endapan

AI dapat membantu siswa menulis interpretasi:

- Endapan menunjukkan terbentuknya zat padat sukar larut.
- Ion tertentu bergabung membentuk padatan.
- Tidak ada endapan berarti semua ion kemungkinan tetap terlarut dalam kondisi percobaan.
- Persamaan ion bersih perlu ditulis untuk menunjukkan ion yang benar-benar bereaksi.

Prompt:

“Bantu saya menafsirkan data kualitatif reaksi pengendapan berikut. Tuliskan pengamatan, makna kimia, kemungkinan persamaan ion bersih, dan batas kesimpulan.”

Batas kesimpulan penting. Warna endapan saja tidak selalu cukup untuk identifikasi pasti tanpa uji lanjutan.

6.7.12 AI untuk Menghubungkan Hasil Eksperimen dengan Representasi Partikel

Salah satu kelemahan interpretasi siswa adalah berhenti pada level makroskopik. AI dapat membantu guru membuat pertanyaan yang menghubungkan hasil eksperimen dengan representasi partikel.

Contoh uji elektrolit:

Makroskopik: lampu menyala terang.
Submikroskopik: banyak ion bebas bergerak dalam larutan.
Simbolik: $NaCl(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$.

Prompt:

"Bantu menghubungkan hasil uji elektrolit dengan representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Gunakan contoh NaCl, CH_3COOH, dan gula."

Untuk reaksi pengendapan:

Makroskopik: terbentuk endapan putih.
Submikroskopik: Ag^+ dan Cl^- membentuk AgCl padat.
Simbolik: $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$.

AI dapat membantu membuat tabel tiga representasi. Tabel semacam ini membantu siswa memahami kimia secara lebih utuh.

6.7.13 AI untuk Membantu Mengidentifikasi Hubungan Sebab-Akibat

Interpretasi eksperimen tidak hanya menyebut pola, tetapi juga menjelaskan sebab-akibat. Siswa sering menulis "suhu naik, reaksi cepat" tanpa menjelaskan mengapa. AI dapat membantu memperdalam hubungan sebab-akibat.

Prompt:

"Bantu saya menjelaskan hubungan sebab-akibat dalam data praktikum ini. Variabel bebas adalah suhu, variabel terikat adalah waktu reaksi. Jelaskan bagaimana perubahan suhu dapat menyebabkan perubahan laju reaksi berdasarkan teori tumbukan."

Pola sebab-akibat:

1. Suhu dinaikkan.
2. Energi kinetik partikel meningkat.
3. Partikel bergerak lebih cepat.
4. Frekuensi tumbukan meningkat.
5. Lebih banyak partikel memiliki energi cukup untuk melewati energi aktivasi.
6. Tumbukan efektif meningkat.
7. Laju reaksi meningkat.
8. Waktu reaksi menurun.

Urutan ini membantu siswa menulis penjelasan yang lebih ilmiah. AI dapat membantu menyusun rantai sebab-akibat, tetapi siswa harus menghubungkannya dengan data.

6.7.14 AI untuk Membantu Menilai Kekuatan Kesimpulan

Tidak semua kesimpulan memiliki kekuatan yang sama. Kesimpulan yang baik harus didukung data yang cukup. AI dapat membantu siswa menilai apakah kesimpulan terlalu luas, terlalu sempit, atau sudah tepat.

Contoh kesimpulan terlalu luas:

"Semua larutan bening dapat menghantarkan listrik."

Kesimpulan ini tidak didukung jika data menunjukkan larutan gula bening tidak menghantarkan listrik.

Contoh kesimpulan lebih tepat:

"Berdasarkan data praktikum, larutan yang menghasilkan ion bebas dalam jumlah cukup dapat menghantarkan listrik, sedangkan larutan molekuler seperti gula tidak menunjukkan daya hantar dengan alat yang digunakan."

Prompt:

"Periksa kesimpulan praktikum berikut. Apakah kesimpulan terlalu luas, sesuai data, atau perlu dibatasi? Berikan revisi agar kesimpulan berbasis bukti."

AI dapat membantu memperbaiki kesimpulan dengan menambahkan batas data. Misalnya, "berdasarkan percobaan ini", "dengan alat yang digunakan", "pada konsentrasi yang diuji", atau "data menunjukkan kecenderungan". Bahasa seperti ini mencerminkan kehati-hatian ilmiah.

6.7.15 AI untuk Membantu Membandingkan Hasil Antarkelompok

Dalam praktikum kelas, hasil antarkelompok sering berbeda. Perbedaan ini dapat menjadi bahan diskusi ilmiah. AI dapat membantu guru menyusun pertanyaan untuk membandingkan hasil antarkelompok.

Prompt:

"Buat panduan diskusi untuk membandingkan data praktikum antarkelompok. Topik: pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Pertanyaan harus membantu siswa membandingkan pola, menemukan data menyimpang, mengidentifikasi sumber perbedaan, dan menyusun kesimpulan kelas."

Pertanyaan:

1. Apakah semua kelompok menunjukkan pola yang sama?
2. Kelompok mana yang datanya paling berbeda?
3. Apakah perbedaan terjadi pada semua suhu atau hanya satu titik?
4. Apa kemungkinan penyebab perbedaan?

5. Apakah kesimpulan umum tetap sama?
6. Data gabungan kelas menunjukkan pola apa?
7. Bagaimana meningkatkan kualitas data jika praktikum diulang?

Diskusi antarkelompok mengajarkan bahwa data ilmiah perlu dibandingkan, diuji, dan dikritisi. AI dapat membantu membuat sintesis, tetapi guru harus memastikan data asli tetap transparan.

6.7.16 AI untuk Membantu Interpretasi Data Simulasi dan Data Nyata

Jika pembelajaran menggunakan virtual laboratory, siswa dapat membandingkan data simulasi dan data nyata. AI dapat membantu menafsirkan perbedaan tersebut. Data simulasi biasanya lebih ideal, sedangkan data nyata mengandung variasi.

Prompt:

"Bantu saya membandingkan data simulasi dan data praktikum nyata berikut. Identifikasi pola yang sama, perbedaan utama, kemungkinan sumber perbedaan, dan kesimpulan yang masih dapat dipertahankan."

Interpretasi yang baik:

- Data simulasi dan nyata sama-sama menunjukkan tren kenaikan laju ketika suhu meningkat.
- Data nyata memiliki variasi karena pengukuran waktu, suhu tidak stabil, atau perbedaan pengadukan.
- Simulasi membantu memahami model ideal, sedangkan praktikum nyata menunjukkan kondisi eksperimen sesungguhnya.
- Kesimpulan umum tetap didukung jika pola utama konsisten.

Perbandingan ini membantu siswa memahami perbedaan antara model dan realitas. AI dapat membantu menyusun refleksi tentang keterbatasan simulasi.

6.7.17 AI untuk Membantu Interpretasi Hasil yang Tidak Sesuai Prediksi

Hasil eksperimen yang tidak sesuai prediksi adalah bagian alami dari sains. AI dapat membantu siswa menafsirkan hasil tersebut tanpa mengubah data. Ini penting untuk membangun kejujuran ilmiah.

Prompt:

"Hasil praktikum saya tidak sesuai prediksi. Data saya sebagai berikut. Bantu saya menganalisis kemungkinan penyebabnya dan menyusun refleksi ilmiah tanpa mengubah data."

AI dapat membantu mengajukan kemungkinan:

1. Apakah variabel kontrol terjaga?

2. Apakah alat ukur digunakan dengan benar?
3. Apakah bahan masih baik?
4. Apakah ada kontaminasi?
5. Apakah waktu pengamatan tepat?
6. Apakah hipotesis awal perlu direvisi?
7. Apakah teori yang digunakan sudah sesuai konteks?

Guru perlu menekankan bahwa data tidak sesuai prediksi bukan alasan untuk memalsukan hasil. Laporan yang jujur dengan analisis kritis lebih baik daripada laporan yang tampak sempurna tetapi datanya dimanipulasi.

6.7.18 AI untuk Membantu Menulis Interpretasi dalam Format Ilmiah

Siswa sering kesulitan menulis interpretasi dengan bahasa ilmiah. AI dapat membantu menyusun kerangka, tetapi siswa harus tetap memahami isi. Format yang berguna adalah:

1. Pernyataan pola.
2. Bukti data.
3. Penjelasan konsep.
4. Batas interpretasi.
5. Sumber kesalahan atau ketidakpastian.

Contoh:

“Berdasarkan data, kenaikan suhu menyebabkan waktu reaksi menurun dari 85 detik pada 30°C menjadi 36 detik pada 50°C. Hal ini menunjukkan bahwa laju reaksi meningkat ketika suhu dinaikkan. Secara konsep, kenaikan suhu meningkatkan energi kinetik partikel sehingga frekuensi dan energi tumbukan efektif bertambah. Namun, hasil ini berlaku pada kondisi percobaan yang digunakan dan dapat dipengaruhi oleh ketelitian pengukuran waktu serta kestabilan suhu.”

Prompt:

“Bantu saya menyusun interpretasi data praktikum dalam format: pola, bukti, konsep, batas kesimpulan, dan sumber kesalahan. Jangan menambahkan data baru.”

Dengan format ini, interpretasi menjadi lebih lengkap dan tidak sekadar mengulang teori.

6.7.19 Validasi Interpretasi AI terhadap Data Eksperimen

Interpretasi AI harus divalidasi. AI dapat salah membaca data, menyimpulkan terlalu jauh, mengabaikan satuan, atau membuat penjelasan yang terdengar benar tetapi tidak didukung data. Guru dan siswa perlu memeriksa hasil interpretasi AI.

Daftar cek validasi interpretasi AI:

1. Apakah AI menggunakan data yang benar?

2. Apakah ada data yang diubah atau ditambahkan?
3. Apakah pola yang disebut memang tampak dalam data?
4. Apakah satuan digunakan dengan benar?
5. Apakah grafik dibaca dengan benar?
6. Apakah kesimpulan didukung data?
7. Apakah konsep kimia yang digunakan tepat?
8. Apakah ada klaim yang terlalu luas?
9. Apakah data menyimpang dibahas?
10. Apakah sumber kesalahan spesifik?
11. Apakah batas kesimpulan disebutkan?
12. Apakah interpretasi sesuai jenjang?

Prompt validasi:

"Periksa interpretasi data berikut. Bandingkan dengan tabel data. Identifikasi apakah ada klaim yang tidak didukung data, kesalahan konsep, kesalahan satuan, atau kesimpulan terlalu luas. Berikan revisi."

Dengan validasi ini, AI menjadi alat belajar kritis. Siswa belajar bahwa output AI juga harus diperiksa.

6.7.20 Prinsip Akhir Penggunaan AI untuk Interpretasi Data Praktikum

Penggunaan AI untuk interpretasi tabel, grafik, dan hasil eksperimen harus mengikuti beberapa prinsip. Pertama, data harus berasal dari pengamatan nyata atau dinyatakan sebagai data simulasi jika memang simulatif. Kedua, AI tidak boleh mengubah atau membuat data. Ketiga, interpretasi harus menyebut bukti spesifik dari data. Keempat, grafik harus dipilih sesuai jenis data. Kelima, kesimpulan harus sesuai batas data. Keenam, hasil yang tidak sesuai prediksi harus dianalisis, bukan dimanipulasi. Ketujuh, AI harus digunakan untuk memberi pertanyaan pemandu dan umpan balik, bukan jawaban final tanpa pemahaman. Kedelapan, semua interpretasi AI harus divalidasi. Kesembilan, siswa perlu mencatat penggunaan AI secara transparan. Kesepuluh, guru tetap menjadi pengarah literasi data dan penalaran ilmiah.

Dengan demikian, AI dapat membantu peserta didik menafsirkan tabel, grafik, dan hasil eksperimen secara lebih sistematis. AI dapat membantu membaca pola, memilih grafik, menjelaskan hubungan variabel, menghubungkan data dengan konsep, menilai kekuatan kesimpulan, dan mengidentifikasi sumber kesalahan. Namun, nilai utama interpretasi tetap terletak pada kemampuan siswa menggunakan data sebagai bukti dan menjelaskan fenomena dengan konsep kimia yang tepat. AI sebaiknya memperkuat literasi data, bukan menggantikan penalaran ilmiah.

6.8 AI untuk Merancang Alternatif Alat dan Bahan Sederhana

Keterbatasan alat dan bahan merupakan salah satu tantangan utama dalam pelaksanaan praktikum kimia, terutama di sekolah yang belum memiliki laboratorium lengkap, jumlah peserta didik besar, anggaran terbatas, atau akses bahan kimia standar yang tidak selalu tersedia. Dalam kondisi seperti

itu, guru sering harus mencari alternatif alat dan bahan sederhana agar pembelajaran eksperimen tetap dapat berlangsung. Alternatif ini tidak berarti menurunkan mutu pembelajaran, asalkan dirancang secara aman, konseptual, dan tetap mengarah pada tujuan pembelajaran yang jelas.

AI dapat membantu guru merancang alternatif alat dan bahan sederhana dengan lebih kreatif dan sistematis. AI dapat digunakan untuk mencari padanan bahan yang lebih aman, menyusun desain alat sederhana, mengembangkan praktikum mikro, membuat simulasi pendukung, merancang eksperimen berbasis bahan sekitar, menyusun prosedur hemat bahan, serta membuat LKPD yang tetap menekankan data, variabel, dan analisis. Namun, penggunaan AI dalam merancang alternatif alat dan bahan harus tetap dikendalikan oleh prinsip keselamatan. Tidak semua bahan rumah tangga aman untuk dicampur. Tidak semua alat sederhana layak digunakan. Tidak semua eksperimen dapat disederhanakan tanpa mengubah makna konsep.

Alternatif alat dan bahan sederhana harus memenuhi beberapa syarat. Pertama, aman digunakan sesuai jenjang peserta didik. Kedua, mampu menghasilkan data atau fenomena yang relevan dengan konsep. Ketiga, prosedurnya jelas dan dapat dikontrol. Keempat, tidak menghasilkan limbah berbahaya. Kelima, tidak menimbulkan miskonsepsi. Keenam, mudah diperoleh dengan biaya rendah. Ketujuh, tetap memungkinkan siswa melakukan pengamatan, pencatatan data, analisis, dan penyimpulan berbasis bukti. Dengan demikian, alternatif sederhana bukan sekadar "pengganti murah", tetapi bentuk adaptasi pedagogis agar praktikum tetap bermakna dalam keterbatasan.

6.8.1 Urgensi Alternatif Alat dan Bahan dalam Praktikum Kimia

Praktikum kimia sering kali diasosiasikan dengan laboratorium lengkap, reagen standar, buret, pipet volume, neraca analitik, pH meter, spektrofotometer, pemanas, lemari asam, dan berbagai instrumen. Idealnya, fasilitas tersebut tersedia. Namun, realitas pembelajaran tidak selalu demikian. Banyak sekolah memiliki keterbatasan alat, bahan, ruang laboratorium, tenaga laboran, atau waktu praktikum. Jika guru menunggu fasilitas ideal, siswa dapat kehilangan kesempatan mengalami pembelajaran eksperimental.

Alternatif alat dan bahan sederhana menjadi penting untuk menjaga hakikat eksperimen dalam pembelajaran kimia. Misalnya, konsep asam-basa dapat dipelajari menggunakan indikator alami dari kol ungu atau bunga berwarna. Konsep elektrolit dapat dipelajari menggunakan rangkaian sederhana dengan baterai tegangan rendah, LED, dan elektroda yang aman. Konsep laju reaksi dapat dipelajari melalui reaksi aman yang menghasilkan perubahan teramati. Konsep adsorpsi atau filtrasi dapat dipelajari melalui model penyaringan sederhana. Konsep korosi dapat diamati melalui perubahan paku besi dalam berbagai kondisi lingkungan.

AI dapat membantu guru merancang alternatif tersebut dengan menyesuaikan topik, jenjang, durasi, alat-bahan tersedia, dan tingkat risiko. Contoh prompt:

"Rancang alternatif praktikum sederhana untuk materi asam-basa kelas XI menggunakan bahan yang mudah diperoleh, relatif aman, murah, dan dapat menghasilkan data pengamatan. Sertakan tujuan, alat-bahan, K3, prosedur, tabel data, pertanyaan analisis, dan keterbatasan eksperimen."

Prompt seperti ini membantu guru memperoleh draf awal. Namun, guru tetap harus memeriksa keamanan bahan, kesesuaian prosedur, dan keakuratan konsep.

6.8.2 Prinsip Substitusi Aman dalam Praktikum Kimia

Substitusi alat dan bahan harus didasarkan pada prinsip keselamatan. Jika bahan standar terlalu berbahaya, mahal, atau sulit diperoleh, guru dapat mencari bahan lain yang lebih aman tetapi tetap merepresentasikan konsep. Prinsip substitusi aman berarti memilih bahan dengan risiko lebih rendah tanpa menghilangkan tujuan pembelajaran.

Misalnya, untuk mengenalkan indikator asam-basa, guru dapat menggunakan indikator alami daripada indikator sintetis tertentu jika akses terbatas. Untuk mengenalkan daya hantar listrik larutan, guru dapat menggunakan larutan garam dapur encer, larutan gula, dan cuka dapur encer sebagai pembanding, dengan sumber listrik tegangan rendah. Untuk pengenalan korosi, guru dapat menggunakan paku besi, air, larutan garam encer, dan minyak sebagai pembanding lingkungan.

Namun, guru harus menghindari prinsip substitusi yang keliru. Bahan rumah tangga tidak otomatis aman. Beberapa bahan pembersih dapat mengandung zat yang berbahaya jika dicampur. Guru tidak boleh menyarankan pencampuran pemutih dengan asam, amonia, atau pembersih lain karena dapat menghasilkan gas berbahaya. Guru juga harus menghindari penggunaan bahan pekat, pelarut mudah terbakar, atau reagen yang menghasilkan uap iritan dalam kegiatan siswa tanpa fasilitas memadai.

AI dapat membantu membuat analisis substitusi aman. Prompt:

“Untuk praktikum kimia sekolah tentang [topik], berikan alternatif bahan yang lebih aman dibanding bahan laboratorium standar. Untuk setiap alternatif, jelaskan konsep yang tetap dapat dipelajari, risiko, keterbatasan, dan tindakan keselamatan. Hindari bahan berbahaya atau pencampuran bahan pembersih.”

Dengan prompt ini, AI diarahkan untuk mempertimbangkan keselamatan. Namun, hasilnya tetap harus divalidasi dengan SDS, panduan laboratorium, dan kebijakan sekolah.

6.8.3 AI untuk Merancang Praktikum Mikro

Praktikum mikro atau *microscale experiment* menggunakan bahan kimia dalam jumlah sangat kecil. Pendekatan ini memiliki banyak keuntungan: mengurangi limbah, mengurangi biaya, mempercepat prosedur, menurunkan risiko paparan bahan, dan memudahkan pelaksanaan pada kelas besar. Praktikum mikro sangat relevan untuk sekolah dengan keterbatasan bahan dan ruang laboratorium.

AI dapat membantu mengubah praktikum skala biasa menjadi skala mikro. Misalnya, reaksi pengendapan yang biasanya menggunakan beberapa mililiter larutan dapat dilakukan menggunakan tetes larutan pada pelat tetes atau plastik transparan tertentu yang aman. Praktikum indikator asam-basa dapat dilakukan dengan tetesan indikator dan sampel kecil. Uji pH dapat dilakukan menggunakan kertas indikator dalam jumlah minimal.

Contoh prompt:

“Ubah praktikum reaksi pengendapan menjadi versi mikroskala untuk siswa SMA. Gunakan jumlah larutan sangat kecil, alat sederhana seperti pelat tetes jika tersedia, prosedur aman, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, dan pengelolaan limbah.”

Praktikum mikro tetap harus memperhatikan validitas data. Jika jumlah bahan terlalu kecil, pengamatan dapat menjadi sulit. Guru perlu memastikan perubahan warna, endapan, atau gelembung masih terlihat. Guru juga perlu memberi instruksi agar siswa tidak mencampur bahan sembarangan di luar prosedur.

Pendekatan mikro sesuai dengan prinsip *green chemistry* karena mengurangi penggunaan bahan dan limbah. Namun, guru perlu menjelaskan bahwa pengurangan skala tidak menghilangkan kewajiban keselamatan.

6.8.4 AI untuk Merancang Alat Uji Elektrolit Sederhana

Uji elektrolit merupakan salah satu praktikum yang sering membutuhkan alat khusus. Jika alat standar tidak tersedia, guru dapat merancang alat sederhana menggunakan sumber listrik tegangan rendah, LED atau lampu kecil, kabel, resistor jika diperlukan, dan elektroda yang sesuai. AI dapat membantu membuat rancangan konseptual, tetapi keselamatan listrik harus menjadi prioritas. Jangan menggunakan listrik PLN langsung untuk praktikum siswa.

Prompt:

“Rancang alat uji elektrolit sederhana yang aman untuk siswa SMA menggunakan sumber listrik tegangan rendah. Jelaskan komponen, fungsi setiap komponen, prosedur penggunaan, K3, keterbatasan alat, dan cara mencegah kontaminasi antarlarutan.”

Komponen yang dapat dipertimbangkan:

1. Baterai tegangan rendah.
2. LED atau lampu kecil yang sesuai.
3. Resistor jika diperlukan untuk melindungi LED.
4. Kabel berisolasi.
5. Elektroda yang tidak mudah bereaksi pada kondisi praktikum.
6. Wadah kecil untuk larutan.
7. Sakelar sederhana jika tersedia.

Keterbatasan alat sederhana perlu dijelaskan. Nyala LED dipengaruhi oleh konsentrasi larutan, jarak elektroda, kondisi baterai, jenis elektroda, dan sensitivitas rangkaian. Karena itu, hasil uji elektrolit sederhana lebih tepat digunakan untuk klasifikasi kualitatif, bukan pengukuran konduktivitas presisi.

AI dapat membantu menyusun LKPD yang menekankan konsep:

- Larutan apa yang membuat lampu menyala terang?
- Larutan apa yang membuat lampu redup?
- Larutan apa yang tidak menyalakan lampu?
- Bagaimana hasil ini dikaitkan dengan ion bebas?
- Apa keterbatasan alat?

Dengan demikian, alat sederhana tetap dapat menjadi media pembelajaran yang kuat.

6.8.5 AI untuk Merancang Indikator Alami Asam-Basa

Indikator alami merupakan alternatif populer untuk praktikum asam-basa. Beberapa bahan tumbuhan yang mengandung antosianin dapat menunjukkan perubahan warna pada kondisi asam dan basa. Contoh yang sering digunakan adalah kol ungu, bunga tertentu, atau bahan berwarna lain yang aman dan tersedia lokal. Indikator alami membantu siswa memahami bahwa perubahan warna dapat digunakan sebagai petunjuk sifat asam-basa, meskipun tidak selalu memberi nilai pH yang presisi.

AI dapat membantu merancang praktikum indikator alami. Prompt:

“Buat LKPD praktikum indikator alami asam-basa menggunakan bahan lokal yang aman. LKPD harus memuat cara membuat ekstrak indikator, larutan uji yang relatif aman, prosedur, K3, tabel warna, analisis, keterbatasan indikator alami, dan pertanyaan refleksi.”

Larutan uji dapat berupa bahan yang relatif aman seperti air, cuka dapur encer, air jeruk, larutan soda kue encer, atau larutan sabun encer. Namun, guru harus menghindari bahan pembersih yang tidak jelas komposisinya dan tidak boleh mengizinkan siswa mencicipi larutan. Semua larutan harus diberi label dan digunakan dalam jumlah kecil.

Keterbatasan indikator alami perlu dijelaskan:

1. Warna dapat dipengaruhi konsentrasi ekstrak.
2. Warna dapat dipengaruhi jenis pelarut.
3. Indikator alami tidak selalu memberi pH presisi.
4. Warna dapat berubah karena degradasi pigmen.
5. Interpretasi warna dapat subjektif.

AI dapat membantu menyusun tabel warna, tetapi guru sebaiknya melakukan uji coba terlebih dahulu karena warna indikator alami dapat bervariasi.

6.8.6 AI untuk Merancang Praktikum Laju Reaksi dengan Bahan Sederhana

Konsep laju reaksi dapat dipelajari dengan bahan sederhana asalkan aman dan terkontrol. Guru dapat menggunakan sistem reaksi yang menghasilkan gas, perubahan warna, atau perubahan tampilan yang mudah diamati. Namun, pemilihan bahan harus hati-hati agar tidak menghasilkan gas berbahaya atau reaksi terlalu kuat.

AI dapat membantu merancang praktikum laju reaksi berbasis variabel tertentu. Contoh prompt:

“Rancang praktikum sederhana dan aman untuk menunjukkan pengaruh suhu terhadap laju reaksi bagi siswa SMA. Gunakan bahan yang mudah diperoleh, jumlah kecil, prosedur aman, tabel data waktu reaksi, analisis teori tumbukan, dan keterbatasan eksperimen.”

Praktikum laju reaksi dengan bahan sederhana harus memperhatikan:

1. Reaksi harus cukup lambat untuk diukur.
2. Fenomena akhir harus jelas.
3. Variabel bebas harus dapat dikontrol.
4. Variabel kontrol harus dijaga.
5. Jumlah bahan harus kecil.
6. Tidak menghasilkan tekanan tinggi dalam wadah tertutup.
7. Tidak menggunakan api terbuka jika tidak diperlukan.
8. Tidak menghasilkan uap berbahaya.

AI dapat membantu membuat variasi praktikum berdasarkan suhu, konsentrasi, atau luas permukaan. Guru kemudian memilih yang paling aman dan realistis.

6.8.7 AI untuk Merancang Model Filtrasi dan Pemisahan Campuran

Pemisahan campuran merupakan topik yang relatif aman untuk dikembangkan dengan alat sederhana. Guru dapat menggunakan filtrasi, dekantasi, kristalisasi sederhana, kromatografi kertas, atau pemisahan magnetik. AI dapat membantu membuat rancangan praktikum dengan bahan sekitar.

Contoh prompt:

“Buat praktikum sederhana tentang metode pemisahan campuran untuk siswa SMP/SMA. Gunakan contoh filtrasi, dekantasi, dan kromatografi kertas dengan bahan aman. Sertakan tujuan, alat-bahan, prosedur, tabel pengamatan, pertanyaan analisis, dan K3.”

Contoh kegiatan:

- Filtrasi campuran air dan pasir.
- Dekantasi campuran air dan padatan kasar.
- Kromatografi kertas menggunakan tinta spidol yang larut air.
- Pemisahan serbuk besi dari pasir menggunakan magnet dengan prosedur aman.

Kromatografi kertas dapat menjadi kegiatan menarik karena siswa melihat pemisahan warna. Namun, guru perlu memastikan pelarut yang digunakan aman. Air atau pelarut aman yang sesuai lebih disarankan untuk sekolah. Pelarut organik mudah terbakar sebaiknya dihindari jika fasilitas tidak memadai.

AI dapat membantu membuat pertanyaan:

1. Mengapa komponen warna dapat terpisah?
2. Apa peran fase diam dan fase gerak?
3. Mengapa beberapa warna bergerak lebih jauh?
4. Apa keterbatasan kromatografi sederhana?

Dengan bahan sederhana, konsep pemisahan tetap dapat dipelajari secara bermakna.

6.8.8 AI untuk Merancang Praktikum Korosi Sederhana

Korosi merupakan topik kontekstual yang dapat dipelajari dengan bahan sederhana. Siswa dapat mengamati paku besi dalam kondisi berbeda, misalnya air, air garam, lingkungan kering, atau tertutup minyak. Praktikum ini dapat menunjukkan pengaruh air, oksigen, dan ion terhadap korosi. Namun, praktikum korosi membutuhkan waktu lebih lama, sehingga cocok sebagai proyek mini.

Prompt:

"Rancang praktikum sederhana tentang korosi besi untuk siswa SMA. Gunakan paku besi dan kondisi lingkungan berbeda. Sertakan tujuan, variabel, alat-bahan, prosedur aman, tabel pengamatan harian, analisis, kesimpulan, dan keterbatasan."

Aspek yang dapat diamati:

1. Perubahan warna.
2. Munculnya karat.
3. Perbedaan kondisi paku.
4. Pengaruh air garam dibanding air biasa.
5. Peran oksigen dan kelembapan.

Guru perlu mengingatkan bahwa hasil bersifat kualitatif dan dipengaruhi banyak faktor, seperti jenis paku, lapisan permukaan, volume air, paparan udara, dan suhu. AI dapat membantu membuat tabel pengamatan harian:

Hari	Kondisi A	Kondisi B	Kondisi C	Catatan

Praktikum korosi juga dapat dihubungkan dengan elektrokimia, reaksi redoks, dan perlindungan logam.

6.8.9 AI untuk Merancang Praktikum Koloid dan Adsorpsi Sederhana

Koloid, adsorpsi, dan pemurnian sederhana dapat dipelajari melalui bahan yang relatif mudah diperoleh. Misalnya, siswa dapat membandingkan air keruh sebelum dan sesudah filtrasi sederhana, atau mengamati efek arang aktif terhadap warna larutan tertentu jika aman. Namun, guru harus berhati-hati agar tidak membuat klaim berlebihan, misalnya bahwa air hasil filtrasi sederhana otomatis layak diminum.

Prompt:

“Rancang praktikum sederhana tentang filtrasi dan adsorpsi untuk siswa SMA. Gunakan bahan yang relatif aman. Tekankan bahwa hasil praktikum hanya menunjukkan perubahan kejernihan atau warna, bukan membuktikan air aman diminum. Sertakan K3, tabel data, analisis, dan batas kesimpulan.”

Batas kesimpulan sangat penting. Praktikum sederhana tidak dapat menguji mikroorganisme, logam berat, pestisida, atau kontaminan terlarut secara lengkap. Siswa perlu belajar bahwa kejernihan air tidak sama dengan keamanan air.

AI dapat membantu membuat bahasa kesimpulan yang hati-hati:

“Berdasarkan pengamatan, filtrasi sederhana dapat mengurangi partikel tersuspensi yang tampak, tetapi tidak membuktikan bahwa air bebas dari mikroorganisme atau zat berbahaya terlarut.”

Dengan demikian, praktikum sederhana tetap ilmiah dan tidak menyesatkan.

6.8.10 AI untuk Merancang Praktikum Termokimia Sederhana

Termokimia dapat dipelajari melalui pengamatan perubahan suhu pada proses pelarutan atau reaksi sederhana yang aman. Namun, guru harus berhati-hati dalam memilih bahan. Tidak semua reaksi eksoterm atau endoterm aman dilakukan oleh siswa. AI dapat membantu merancang percobaan dengan bahan aman dan jumlah kecil.

Prompt:

“Rancang praktikum termokimia sederhana untuk siswa SMA menggunakan bahan yang relatif aman dan jumlah kecil. Fokus pada pengamatan perubahan suhu, bukan reaksi berbahaya. Sertakan alat-bahan, prosedur, K3, tabel suhu, grafik, analisis eksoterm/endoterm, dan keterbatasan.”

Data yang dapat dikumpulkan:

1. Suhu awal.
2. Suhu setelah pencampuran/pelarutan.
3. Perubahan suhu.
4. Klasifikasi eksoterm atau endoterm secara kualitatif.
5. Sumber kesalahan.

Guru perlu menjelaskan bahwa pengukuran sederhana tidak sama dengan kalorimetri presisi. Gelas plastik atau wadah sederhana memiliki kehilangan panas. Termometer memiliki keterbatasan. Massa larutan dan kapasitas panas harus diperhatikan jika ingin perhitungan lebih lanjut.

AI dapat membantu membuat analisis sederhana tanpa berlebihan.

6.8.11 AI untuk Merancang Praktikum Polimer dan Material Sederhana

Materi polimer dan material dapat diajarkan melalui praktikum sederhana, tetapi harus menghindari bahan berisiko. Guru dapat menggunakan aktivitas model, pengamatan sifat bahan, atau demonstrasi aman. AI dapat membantu merancang praktikum berbasis perbandingan sifat material, seperti kelenturan, daya serap, atau ketahanan terhadap air.

Prompt:

"Rancang praktikum sederhana tentang sifat polimer untuk siswa SMA menggunakan bahan sehari-hari yang aman. Fokus pada perbandingan sifat fisik seperti kelenturan, daya serap, dan ketahanan air. Sertakan tujuan, prosedur, tabel data, analisis hubungan struktur-sifat secara konseptual, dan batas kesimpulan."

Guru perlu berhati-hati jika AI menyarankan sintesis polimer tertentu yang melibatkan bahan kimia tidak aman. Tidak semua pembuatan polimer cocok untuk sekolah. Jika risiko tidak jelas, gunakan model, simulasi, atau analisis data.

Alternatif aman dapat berupa pengamatan berbagai plastik dengan kode resin, perbandingan sifat bahan, atau diskusi daur ulang. Praktikum tidak harus selalu membuat zat baru; pengamatan sifat material juga bagian dari pembelajaran kimia.

6.8.12 AI untuk Merancang Alat Peraga Molekul Sederhana

Model molekul membantu siswa memahami bentuk molekul, ikatan, geometri, dan stereokimia. Jika model komersial tidak tersedia, guru dapat membuat alat peraga sederhana menggunakan bola styrofoam, plastisin, manik-manik, sedotan, tusuk gigi, kawat, atau bahan lain yang aman. AI dapat membantu merancang model sesuai konsep.

Prompt:

"Rancang alat peraga molekul sederhana untuk menjelaskan bentuk molekul VSEPR pada CH_4, NH_3, H_2O, CO_2, dan BF_3. Gunakan bahan murah dan aman. Sertakan cara membuat, konsep yang ditunjukkan, batas model, dan pertanyaan siswa."

Model harus disertai batas:

1. Bola tidak menunjukkan ukuran atom sebenarnya.
2. Batang tidak menunjukkan ikatan sebagai benda fisik.
3. Warna atom adalah konvensi.
4. Pasangan elektron bebas perlu direpresentasikan atau dijelaskan.
5. Sudut ikatan pada model sederhana mungkin tidak presisi.

AI dapat membantu membuat variasi model yang menampilkan pasangan elektron bebas, misalnya menggunakan warna berbeda atau lobus kecil. Guru perlu memastikan model tidak justru menyesatkan.

6.8.13 AI untuk Merancang Alternatif Jika Bahan Kimia Standar Tidak Tersedia

Dalam banyak kasus, guru memiliki tujuan praktikum tetapi bahan standar tidak tersedia. AI dapat membantu mencari pendekatan alternatif. Namun, guru perlu menyatakan batasan dengan jelas.

Prompt:

"Saya ingin mengajarkan konsep [konsep], tetapi tidak tersedia bahan [bahan standar]. Berikan alternatif praktikum yang aman, murah, dan sesuai untuk siswa SMA. Jelaskan apa konsep yang tetap dapat dicapai dan apa keterbatasannya."

Contoh:

- Tidak ada pH meter → gunakan indikator universal atau indikator alami, dengan catatan hasil lebih kualitatif.
- Tidak ada buret → gunakan simulasi titrasi atau demonstrasi guru, bukan memaksakan titrasi presisi dengan alat tidak tepat.
- Tidak ada spektrofotometer → gunakan simulasi grafik kalibrasi atau pengamatan warna kualitatif, dengan batas kesimpulan.
- Tidak ada konduktometer → gunakan alat uji elektrolit sederhana secara kualitatif.
- Tidak ada model molekul → gunakan model buatan atau aplikasi visualisasi gratis.

AI membantu memberi opsi, tetapi guru memilih berdasarkan tujuan dan validitas. Tidak semua konsep dapat dicapai dengan alternatif sederhana secara penuh. Guru harus jujur menyebut keterbatasan.

6.8.14 AI untuk Merancang Praktikum Berbasis Lingkungan Sekitar

Lingkungan sekitar dapat menjadi sumber pembelajaran kimia yang kaya. Air, tanah, udara, makanan, bahan rumah tangga, logam, plastik, pewarna, dan tanaman dapat menjadi konteks praktikum. AI dapat membantu merancang praktikum kontekstual berbasis lingkungan lokal.

Prompt:

"Rancang praktikum kimia berbasis lingkungan sekitar untuk siswa SMA. Topik: kualitas air secara sederhana. Gunakan parameter aman seperti pH, kekeruhan visual, bau dengan teknik wafting jika diizinkan, dan daya hantar relatif jika alat tersedia. Tekankan batas kesimpulan. Sertakan K3 dan etika lingkungan."

Praktikum berbasis lingkungan harus menjaga etika. Siswa tidak boleh mengambil sampel dari lokasi berbahaya tanpa pengawasan. Hasil praktikum sederhana tidak boleh digunakan untuk menyatakan air layak minum atau tidak secara resmi. Guru harus menekankan bahwa praktikum hanya melatih metode pengamatan dan analisis sederhana.

AI dapat membantu membuat proyek lokal:

- Membandingkan pH air hujan, air sumur, dan air kemasan.
- Mengamati korosi logam dalam kondisi lingkungan berbeda.
- Menguji indikator alami dari tumbuhan lokal.
- Mengkaji jenis plastik berdasarkan kode daur ulang.
- Mengamati perubahan warna pada bahan makanan sebagai konteks asam-basa.

Konteks lokal membuat pembelajaran lebih bermakna.

6.8.15 AI untuk Mengembangkan Prosedur Hemat Biaya

AI dapat membantu guru mengembangkan prosedur hemat biaya tanpa mengurangi kualitas pembelajaran. Prinsip hemat biaya meliputi penggunaan bahan dalam jumlah kecil, alat sederhana, penggunaan ulang alat jika aman, praktikum kelompok, praktikum mikro, dan kombinasi dengan simulasi.

Prompt:

"Optimalkan rancangan praktikum berikut agar lebih hemat biaya dan tetap aman. Kurangi volume bahan, gunakan alat sederhana jika memungkinkan, pertahankan tujuan pembelajaran, dan jelaskan keterbatasan revisi."

Strategi hemat biaya:

1. Menggunakan skala mikro.
2. Menggunakan bahan lokal yang aman.
3. Menggunakan alat sederhana yang dapat dibuat ulang.
4. Menggunakan simulasi untuk bagian yang mahal.
5. Menggunakan data sekunder untuk instrumen yang tidak tersedia.
6. Membagi siswa dalam kelompok kecil.
7. Menyiapkan stasiun praktikum bergilir.
8. Menggunakan demonstrasi guru untuk bagian berisiko.

Hemat biaya tidak boleh mengorbankan keselamatan. Jika alternatif murah lebih berisiko, maka tidak layak digunakan. AI dapat memberi opsi, tetapi guru harus memprioritaskan keselamatan.

6.8.16 AI untuk Membuat Stasiun Praktikum Sederhana

Stasiun praktikum adalah model pembelajaran di mana siswa berpindah dari satu pos ke pos lain untuk melakukan aktivitas singkat. Model ini cocok untuk alat terbatas. AI dapat membantu merancang stasiun praktikum sederhana.

Prompt:

"Rancang pembelajaran praktikum berbasis stasiun untuk materi asam-basa. Buat 4 stasiun: indikator alami, indikator universal, klasifikasi larutan, dan analisis data pH. Setiap stasiun harus memiliki tujuan, alat-bahan, instruksi singkat, K3, data yang dicatat, dan pertanyaan analisis."

Stasiun dapat dibuat singkat dan terarah. Misalnya:

- Stasiun 1: Membuat atau mengamati indikator alami.
- Stasiun 2: Menguji larutan dengan indikator.
- Stasiun 3: Mengurutkan larutan berdasarkan pH.
- Stasiun 4: Menafsirkan data dan membuat kesimpulan.

Model stasiun membantu mengatasi keterbatasan alat karena tidak semua kelompok membutuhkan alat yang sama secara bersamaan. AI dapat membantu mengatur rotasi, waktu, dan rubrik.

6.8.17 AI untuk Merancang Alternatif Virtual Jika Eksperimen Tidak Aman

Tidak semua eksperimen layak dilakukan secara langsung. Jika risiko terlalu tinggi, alternatif terbaik adalah virtual laboratory, demonstrasi video tepercaya, simulasi, atau analisis data. AI dapat membantu membuat alternatif pembelajaran tanpa memberikan instruksi praktikum berbahaya.

Prompt:

"Topik ini berisiko dilakukan sebagai praktikum siswa. Rancang alternatif pembelajaran berbasis simulasi dan analisis data. Jangan berikan prosedur eksperimen nyata yang berbahaya. Fokus pada konsep, data, grafik, dan pertanyaan analisis."

Contoh topik yang sebaiknya disimulasikan atau didemonstrasikan oleh guru/ahli dalam kondisi aman:

1. Reaksi logam sangat reaktif dengan air.
2. Reaksi yang menghasilkan gas toksik.
3. Reaksi dengan bahan korosif pekat.
4. Pembakaran pelarut mudah terbakar.
5. Eksperimen tekanan tinggi.
6. Reaksi eksplosif.
7. Penggunaan oksidator kuat.

AI harus digunakan untuk mengalihkan ke pembelajaran aman, bukan mencari cara "murah" melakukan eksperimen berbahaya. Guru harus memilih keselamatan di atas efek spektakuler.

6.8.18 AI untuk Menyusun Batas Kesimpulan pada Praktikum Sederhana

Praktikum sederhana sering menghasilkan data terbatas. Guru perlu mengajarkan siswa menyusun kesimpulan sesuai batas data. AI dapat membantu membuat bagian "keterbatasan eksperimen" dalam LKPD.

Contoh:

- Uji pH sederhana hanya menunjukkan tingkat keasaman, bukan keamanan air.

- Indikator alami hanya memberi perkiraan, bukan nilai pH presisi.
- Alat uji elektrolit sederhana hanya memberi klasifikasi kualitatif, bukan konduktivitas kuantitatif.
- Filtrasi sederhana hanya mengurangi partikel tersuspensi, bukan semua zat terlarut.
- Praktikum korosi sederhana dipengaruhi banyak faktor yang sulit dikontrol.

Prompt:

"Tambahkan bagian keterbatasan eksperimen pada praktikum sederhana berikut. Jelaskan batas kesimpulan agar siswa tidak membuat klaim berlebihan."

Bagian ini penting untuk membentuk literasi sains. Siswa belajar bahwa kesimpulan ilmiah harus sesuai bukti dan metode.

6.8.19 Validasi Alternatif Alat dan Bahan Berbantuan AI

Setiap alternatif alat dan bahan yang dirancang dengan AI harus divalidasi. Validasi mencakup aspek keselamatan, kesesuaian konsep, kelayakan alat, validitas data, limbah, durasi, dan potensi miskonsepsi.

Daftar cek validasi:

1. Apakah bahan aman untuk jenjang siswa?
2. Apakah bahan mudah diperoleh dan jelas komposisinya?
3. Apakah ada risiko pencampuran berbahaya?
4. Apakah alat sederhana aman digunakan?
5. Apakah sumber listrik tegangan rendah?
6. Apakah fenomena yang diamati relevan dengan konsep?
7. Apakah data cukup untuk menjawab pertanyaan?
8. Apakah prosedur jelas dan terkontrol?
9. Apakah limbah aman atau dikelola sesuai prosedur?
10. Apakah hasil tidak menimbulkan miskonsepsi?
11. Apakah kesimpulan dibatasi sesuai metode?
12. Apakah guru/laboran telah menguji coba sebelumnya?

Prompt validasi:

"Tinjau alternatif alat dan bahan praktikum berikut. Evaluasi keselamatan, risiko pencampuran, kelayakan alat, kesesuaian konsep, validitas data, limbah, durasi, potensi miskonsepsi, dan batas kesimpulan. Berikan revisi konkret."

Validasi sangat penting karena alternatif sederhana sering terlihat aman, tetapi tetap dapat menimbulkan risiko jika bahan tidak dikenal, prosedur tidak jelas, atau siswa melakukan improvisasi di luar instruksi.

6.8.20 Prinsip Akhir Perancangan Alternatif Alat dan Bahan dengan AI

Perancangan alternatif alat dan bahan sederhana berbantuan AI perlu mengikuti beberapa prinsip akhir. Pertama, keselamatan lebih penting daripada efek visual. Kedua, bahan rumah tangga tidak otomatis aman. Ketiga, gunakan bahan dalam jumlah kecil. Keempat, hindari pencampuran bahan yang komposisinya tidak jelas. Kelima, gunakan sumber listrik tegangan rendah untuk praktikum elektrolit. Keenam, praktikum sederhana harus tetap menghasilkan data yang relevan. Ketujuh, batas kesimpulan harus dijelaskan. Kedelapan, virtual laboratory lebih baik daripada eksperimen nyata jika risiko terlalu tinggi. Kesembilan, guru harus melakukan uji coba sebelum digunakan siswa. Kesepuluh, AI membantu memberi ide, tetapi guru tetap menjadi validator keselamatan dan konsep.

Dengan demikian, AI dapat membantu guru merancang alternatif alat dan bahan sederhana secara kreatif, hemat, dan adaptif. AI dapat memperluas kemungkinan praktikum di sekolah dengan fasilitas terbatas melalui praktikum mikro, bahan lokal, alat peraga sederhana, virtual laboratory, dan prosedur kontekstual. Namun, semua alternatif harus divalidasi secara ketat agar tetap aman, akurat, edukatif, dan tidak menimbulkan klaim berlebihan. Praktikum sederhana yang baik bukan praktikum yang sekadar murah, melainkan praktikum yang tetap menjaga hakikat sains: aman, berbasis bukti, terkontrol, dan bermakna.

6.9 Keselamatan Kerja Laboratorium dalam Praktikum Berbantuan AI

Keselamatan kerja laboratorium merupakan unsur paling mendasar dalam praktikum kimia. Tidak ada tujuan pembelajaran, inovasi teknologi, atau penggunaan AI yang dapat mengesampingkan keselamatan peserta didik, guru, laboran, lingkungan laboratorium, dan lingkungan sekitar. Praktikum kimia selalu melibatkan potensi risiko, baik dari bahan kimia, alat kaca, listrik, pemanasan, tekanan, gas, limbah, maupun perilaku kerja yang kurang disiplin. Oleh karena itu, setiap rancangan praktikum, baik yang dibuat secara manual maupun berbantuan AI, harus melalui proses penilaian risiko yang cermat.

AI dapat membantu guru menyusun daftar risiko, membuat instruksi keselamatan, menyusun lembar K3, mengembangkan skenario pra-laboratorium, membuat kuis keselamatan, menyusun prosedur penanganan limbah, dan merancang alternatif praktikum yang lebih aman. Namun, AI tidak boleh diperlakukan sebagai otoritas akhir dalam keselamatan laboratorium. Keselamatan laboratorium harus merujuk pada standar institusi, *Safety Data Sheet* atau SDS, pedoman laboratorium, regulasi bahan kimia, kebijakan sekolah atau perguruan tinggi, serta penilaian profesional guru dan laboran.

Dalam konteks praktikum berbantuan AI, keselamatan memiliki dua dimensi. Pertama, keselamatan fisik, yaitu perlindungan dari risiko bahan kimia, alat, dan prosedur. Kedua, keselamatan pedagogis dan etis, yaitu perlindungan dari informasi AI yang keliru, prosedur tidak layak, rekomendasi bahan berbahaya, atau instruksi eksperimen yang tidak sesuai jenjang. AI dapat menghasilkan prosedur yang tampak rapi tetapi mengandung risiko tersembunyi. Karena itu, guru harus memvalidasi setiap rekomendasi AI sebelum digunakan.

6.9.1 Keselamatan sebagai Prinsip Utama Praktikum Kimia

Keselamatan laboratorium bukan bagian tambahan dari praktikum, melainkan prinsip utama yang melekat pada seluruh proses. Praktikum yang menarik tetapi tidak aman tidak boleh dilaksanakan. Dalam pembelajaran kimia, guru bertanggung jawab memastikan bahwa alat, bahan, prosedur, ruang, waktu, dan kemampuan siswa sesuai dengan tingkat risiko percobaan.

Keselamatan dimulai sejak tahap perencanaan. Guru harus bertanya: bahan apa yang digunakan, apa bahayanya, berapa konsentrasinya, bagaimana cara penyimpanannya, bagaimana prosedur penggunaannya, apa yang terjadi jika tumpah, bagaimana limbah dibuang, dan apakah siswa sudah cukup siap. Pertanyaan ini harus dijawab sebelum praktikum dimulai, bukan setelah terjadi masalah.

Dalam praktikum berbantuan AI, guru dapat menggunakan AI untuk membuat daftar awal risiko. Namun, daftar tersebut hanya draf. Guru harus membandingkannya dengan sumber keselamatan yang sah. Jika AI menyarankan prosedur yang melibatkan bahan korosif pekat, gas beracun, pelarut mudah terbakar, oksidator kuat, logam sangat reaktif, atau pemanasan tidak terkontrol, guru harus menolak atau mengganti dengan alternatif yang lebih aman.

Prinsip dasar keselamatan praktikum kimia meliputi:

1. Gunakan bahan paling aman yang masih dapat mencapai tujuan pembelajaran.
2. Gunakan konsentrasi serendah mungkin.
3. Gunakan jumlah bahan sekecil mungkin.
4. Hindari reaksi yang menghasilkan gas berbahaya.
5. Hindari pemanasan bahan mudah terbakar.
6. Hindari penggunaan listrik tegangan tinggi.
7. Gunakan alat pelindung diri yang sesuai.
8. Berikan instruksi jelas.
9. Awasi siswa secara aktif.
10. Siapkan prosedur darurat.

AI dapat membantu menyusun prinsip tersebut dalam LKPD, tetapi implementasi tetap berada pada guru dan laboran.

6.9.2 Peran AI dalam Identifikasi Risiko Awal

AI dapat digunakan untuk membantu identifikasi risiko awal dalam rancangan praktikum. Guru dapat memasukkan daftar alat, bahan, konsentrasi, dan prosedur, lalu meminta AI mengidentifikasi potensi bahaya. AI dapat membantu menandai kemungkinan risiko seperti iritasi kulit, percikan larutan, pecahan kaca, uap, pemanasan, listrik, tumpahan, atau limbah.

Contoh prompt:

“Analisis risiko praktikum berikut untuk siswa SMA. Identifikasi potensi bahaya bahan, alat, prosedur, listrik, pemanasan, limbah, dan perilaku siswa. Berikan tindakan pencegahan dan alternatif yang lebih aman jika diperlukan.”

AI dapat menghasilkan tabel seperti berikut:

Komponen	Potensi Risiko	Pencegahan	Alternatif Lebih Aman
Larutan asam encer	Iritasi kulit/mata	Gunakan kacamata, hindari kontak langsung	Gunakan konsentrasi lebih rendah
Alat kaca	Pecah dan melukai	Gunakan hati-hati, jangan dipaksa	Gunakan plastik laboratorium jika sesuai
Pemanasan	Luka bakar	Gunakan penjepit, jangan memanaskan langsung jika tidak perlu	Gunakan penangas air
Limbah	Kontaminasi lingkungan	Kumpulkan sesuai jenis	Skala mikro

Namun, hasil AI harus diperiksa. AI dapat melewatkan risiko atau menyarankan tindakan yang terlalu umum. Guru harus menambahkan informasi spesifik, misalnya konsentrasi larutan, jumlah bahan, ventilasi, APD, dan prosedur limbah.

Identifikasi risiko awal sebaiknya dilakukan pada setiap praktikum, bahkan praktikum sederhana. Banyak kecelakaan laboratorium terjadi bukan karena eksperimen sangat kompleks, tetapi karena bahan dianggap terlalu biasa sehingga prosedur keselamatan diabaikan.

6.9.3 AI dan Keterbatasannya dalam Keselamatan Laboratorium

AI memiliki keterbatasan dalam keselamatan laboratorium. AI tidak melihat kondisi ruang laboratorium secara langsung. AI tidak mengetahui apakah ventilasi memadai, apakah alat kaca retak, apakah siswa disiplin, apakah bahan sudah kedaluwarsa, apakah label botol benar, apakah sumber listrik aman, atau apakah guru memiliki cukup bantuan untuk mengawasi kelas. Karena itu, AI tidak dapat menggantikan inspeksi nyata.

AI juga dapat memberikan informasi yang terlalu umum atau tidak kontekstual. Misalnya, AI dapat menyatakan “gunakan APD yang sesuai” tanpa menyebut jenis APD yang diperlukan. AI dapat menyarankan “buang limbah sesuai aturan” tanpa menjelaskan jenis limbah. AI juga dapat keliru menilai bahaya bahan jika data tidak lengkap. Jika guru hanya menulis “asam”, AI tidak tahu apakah yang dimaksud cuka encer, HCl 0,1 M, atau asam pekat.

Agar AI lebih berguna, guru harus memberi informasi lengkap:

1. Topik praktikum.
2. Jenjang siswa.
3. Alat yang digunakan.
4. Bahan dan konsentrasi.
5. Volume bahan.

6. Prosedur singkat.
7. Durasi.
8. Kondisi laboratorium.
9. APD tersedia.
10. Rencana limbah.

Prompt yang tidak lengkap menghasilkan analisis yang kurang dapat diandalkan. Namun, meskipun prompt lengkap, validasi manusia tetap wajib.

Guru harus menganggap AI sebagai "pemeriksa tambahan", bukan "penjamin keselamatan". Keselamatan laboratorium memerlukan tanggung jawab profesional yang tidak dapat dialihkan kepada AI.

6.9.4 SDS sebagai Rujukan Utama Keselamatan Bahan Kimia

Safety Data Sheet atau SDS merupakan dokumen penting yang memuat informasi bahaya bahan kimia, tindakan pencegahan, penanganan tumpahan, penyimpanan, toksikologi, dan pengelolaan limbah. Dalam praktikum berbantuan AI, SDS tetap menjadi rujukan utama. AI dapat membantu merangkum SDS, tetapi tidak boleh menggantikan SDS.

Guru perlu memeriksa SDS untuk setiap bahan kimia yang digunakan, terutama jika bahan bersifat korosif, iritan, toksik, mudah terbakar, oksidator, atau berbahaya bagi lingkungan. Informasi penting dalam SDS meliputi:

1. Identitas bahan.
2. Klasifikasi bahaya.
3. Pernyataan bahaya.
4. Tindakan pertolongan pertama.
5. Tindakan pemadaman kebakaran.
6. Penanganan tumpahan.
7. Penanganan dan penyimpanan.
8. Pengendalian paparan dan APD.
9. Sifat fisika-kimia.
10. Stabilitas dan reaktivitas.
11. Informasi toksikologi.
12. Informasi ekologi.
13. Pembuangan limbah.

AI dapat membantu guru membuat ringkasan SDS dalam bahasa siswa. Contoh prompt:

"Bantu ringkas informasi keselamatan dari SDS bahan berikut untuk siswa SMA. Fokus pada bahaya utama, APD, larangan, tindakan jika terkena kulit/mata, penanganan tumpahan kecil, dan pembuangan limbah. Jangan menambahkan informasi di luar SDS."

Namun, guru harus memasukkan isi SDS yang valid atau merujuk dokumen resmi, bukan meminta AI menebak. Jika SDS tidak tersedia, sebaiknya bahan tidak digunakan sampai informasi keselamatan jelas.

6.9.5 Keselamatan Bahan Rumah Tangga dalam Praktikum Sederhana

Bahan rumah tangga sering digunakan sebagai alternatif bahan praktikum karena mudah diperoleh dan tampak aman. Namun, bahan rumah tangga tidak selalu aman, terutama jika dicampur dengan bahan lain. Beberapa produk pembersih memiliki komposisi yang dapat menghasilkan gas berbahaya jika bereaksi dengan asam atau bahan lain. Oleh karena itu, guru harus sangat hati-hati dalam menggunakan bahan rumah tangga.

Prinsip utama:

1. Gunakan bahan dengan komposisi jelas.
2. Hindari mencampur produk pembersih.
3. Hindari bahan berlabel berbahaya, korosif, mudah terbakar, atau beracun.
4. Gunakan jumlah kecil.
5. Jangan mengizinkan siswa mencicipi bahan.
6. Semua wadah harus diberi label.
7. Gunakan sarung tangan atau alat bantu jika diperlukan.
8. Buang limbah sesuai arahan guru.
9. Jangan melakukan eksperimen rumah tanpa pengawasan jika ada risiko.
10. Jika ragu, gunakan simulasi.

AI dapat membantu memilih bahan yang lebih aman, tetapi guru harus memvalidasi komposisi. Contoh prompt yang baik:

“Rancang praktikum indikator asam-basa dengan bahan rumah tangga yang relatif aman. Hindari semua bahan pembersih yang berisiko jika dicampur. Gunakan bahan makanan atau larutan sederhana dalam jumlah kecil. Sertakan K3 dan batas kesimpulan.”

Dalam praktikum asam-basa, bahan seperti cuka encer, air jeruk, larutan soda kue encer, atau air sabun encer dapat digunakan dengan pengawasan. Namun, produk pembersih kuat sebaiknya dihindari untuk siswa jika komposisinya tidak jelas.

6.9.6 Keselamatan dalam Praktikum Menggunakan Listrik

Beberapa praktikum kimia melibatkan listrik, misalnya uji elektrolit, elektrolisis sederhana, atau sel elektrokimia. Risiko listrik harus diperhatikan, terutama jika siswa merangkai alat sendiri. Prinsip utama adalah menggunakan sumber listrik tegangan rendah dan tidak menggunakan listrik PLN langsung untuk percobaan siswa.

AI dapat membantu membuat rancangan keselamatan listrik. Prompt:

“Buat panduan keselamatan untuk praktikum uji elektrolit siswa SMA menggunakan baterai tegangan rendah. Sertakan larangan, pemeriksaan alat, penggunaan kabel, elektroda, kondisi tangan, dan prosedur setelah praktikum.”

Panduan dapat memuat:

1. Gunakan baterai tegangan rendah.
2. Jangan menggunakan stopkontak listrik langsung.
3. Pastikan kabel berisolasi baik.
4. Jangan menyentuh rangkaian dengan tangan basah.
5. Jangan membuat hubungan pendek baterai.
6. Gunakan resistor jika diperlukan untuk LED.
7. Matikan atau putus rangkaian saat mengganti larutan.
8. Bersihkan elektroda setelah digunakan.
9. Jangan mencelupkan baterai langsung ke larutan.
10. Laporkan kabel rusak kepada guru.

AI dapat membantu menyusun prosedur, tetapi guru harus memeriksa rangkaian secara fisik sebelum digunakan. Praktikum listrik sederhana tetap membutuhkan pengawasan.

6.9.7 Keselamatan dalam Pemanasan dan Penggunaan Api

Pemanasan merupakan sumber risiko utama di laboratorium. Risiko meliputi luka bakar, pecahnya alat kaca, percikan larutan, kebakaran, dan uap berbahaya. Dalam praktikum sekolah, pemanasan harus digunakan hanya jika benar-benar diperlukan. Jika memungkinkan, gunakan penangas air atau sumber panas yang lebih terkendali daripada api langsung.

AI dapat membantu meninjau prosedur pemanasan. Prompt:

“Periksa prosedur praktikum berikut yang melibatkan pemanasan. Identifikasi risiko luka bakar, percikan, tekanan, uap, kebakaran, dan pecahnya alat kaca. Berikan alternatif yang lebih aman jika memungkinkan.”

Prinsip keselamatan pemanasan:

1. Jangan memanaskan wadah tertutup.
2. Jangan mengarahkan mulut tabung reaksi ke orang.
3. Gunakan penjepit tabung reaksi.
4. Gunakan penangas air jika cukup.
5. Hindari pemanasan pelarut mudah terbakar dengan api terbuka.
6. Gunakan alat kaca tahan panas.
7. Biarkan alat panas mendingin sebelum disentuh.
8. Jangan meninggalkan pemanasan tanpa pengawasan.
9. Pastikan area bebas bahan mudah terbakar.
10. Gunakan ventilasi jika ada uap.

Jika AI menyarankan pemanasan yang tidak diperlukan, guru sebaiknya menghapusnya. Praktikum yang dapat dilakukan pada suhu ruang lebih aman untuk siswa sekolah.

6.9.8 Keselamatan Gas dan Uap dalam Praktikum Kimia

Beberapa reaksi menghasilkan gas atau uap. Tidak semua gas aman. Bahkan gas yang relatif tidak beracun pun dapat menimbulkan risiko jika dihasilkan dalam wadah tertutup atau jumlah besar. Praktikum sekolah harus menghindari reaksi yang menghasilkan gas beracun, iritan, mudah terbakar, atau bertekanan.

AI harus diarahkan agar tidak menyarankan prosedur yang menghasilkan gas berbahaya. Prompt:

"Rancang alternatif aman untuk menjelaskan konsep gas dalam reaksi kimia tanpa menghasilkan gas berbahaya. Hindari reaksi yang menghasilkan gas toksik, iritan, atau mudah terbakar. Sertakan K3 dan batas praktikum."

Prinsip keselamatan gas:

1. Jangan menghasilkan gas dalam wadah tertutup rapat.
2. Jangan menghirup gas secara langsung.
3. Hindari gas toksik atau iritan.
4. Gunakan ventilasi baik.
5. Gunakan jumlah bahan kecil.
6. Jangan mendekatkan gas tidak dikenal ke api.
7. Jangan mencampur bahan pembersih.
8. Jika gas berisiko, gunakan simulasi atau demonstrasi ahli.

Guru perlu berhati-hati dengan eksperimen yang tampak sederhana tetapi menghasilkan gas. Jika tidak yakin, jangan lakukan sebagai praktikum siswa. Gunakan video demonstrasi atau virtual laboratory.

6.9.9 Keselamatan Alat Kaca dan Benda Tajam

Alat kaca seperti tabung reaksi, gelas kimia, erlenmeyer, buret, pipet, dan gelas ukur dapat pecah dan melukai. Praktikum kimia perlu melatih siswa menggunakan alat kaca dengan benar. AI dapat membantu membuat instruksi keselamatan alat kaca.

Prompt:

"Buat panduan keselamatan penggunaan alat kaca dalam praktikum kimia siswa SMA. Sertakan cara memeriksa alat, membawa, menggunakan, membersihkan, dan tindakan jika alat pecah."

Panduan:

1. Periksa alat kaca sebelum digunakan.
2. Jangan gunakan alat retak.

3. Bawa alat kaca dengan dua tangan jika besar.
4. Jangan memaksa memasukkan pipa kaca ke sumbat tanpa teknik dan pelindung.
5. Letakkan alat di meja stabil.
6. Jangan menaruh alat kaca di tepi meja.
7. Laporkan pecahan kepada guru.
8. Jangan memungut pecahan dengan tangan kosong.
9. Gunakan sapu kecil atau alat khusus jika tersedia.
10. Buang pecahan kaca di wadah khusus.

Untuk siswa pemula, alat plastik laboratorium dapat digunakan jika sesuai dan tidak bereaksi dengan bahan. Namun, alat plastik tidak cocok untuk semua bahan atau pemanasan. Guru harus memilih alat sesuai kebutuhan.

6.9.10 Keselamatan dalam Praktikum Berbasis Bahan Sederhana

Praktikum berbasis bahan sederhana sering dianggap bebas risiko. Anggapan ini keliru. Bahan sederhana tetap dapat menyebabkan iritasi, tumpahan, kontaminasi, alergi, atau reaksi tidak diinginkan. Misalnya, bahan asam seperti cuka dapat mengiritasi mata, larutan sabun dapat menyebabkan licin, pewarna dapat menodai, dan bahan organik dapat membusuk jika disimpan.

AI dapat membantu membuat K3 untuk praktikum sederhana. Prompt:

“Buat bagian K3 untuk praktikum indikator alami menggunakan bahan dapur dan ekstrak tumbuhan. Sertakan larangan mencicipi, penggunaan label, pencegahan tumpahan, kebersihan alat, dan pembuangan limbah.”

K3 praktikum sederhana:

1. Jangan mencicipi larutan.
2. Jangan menggosok mata saat praktikum.
3. Gunakan sendok atau pipet berbeda untuk tiap bahan.
4. Beri label semua larutan.
5. Bersihkan tumpahan segera.
6. Cuci tangan setelah praktikum.
7. Jangan mencampur bahan di luar instruksi.
8. Buang limbah sesuai arahan guru.
9. Bersihkan meja kerja.
10. Jangan membawa bahan keluar laboratorium tanpa izin.

Kebiasaan keselamatan harus dibangun sejak praktikum sederhana, agar siswa terbiasa disiplin.

6.9.11 AI untuk Menyusun Lembar K3 Praktikum

Setiap praktikum sebaiknya memiliki lembar K3 singkat. AI dapat membantu menyusunnya. Lembar K3 dapat memuat bahan, risiko, APD, prosedur aman, tindakan darurat, limbah, dan larangan.

Prompt:

“Buat lembar K3 untuk praktikum uji elektrolit siswa SMA. Lembar harus memuat alat-bahan, risiko utama, APD, langkah pencegahan, tindakan jika terjadi tumpahan, keselamatan listrik, limbah, dan larangan.”

Format lembar K3:

Komponen	Informasi
Judul praktikum	Uji Elektrolit
Risiko utama	Tumpahan larutan, listrik tegangan rendah, kontaminasi elektroda
APD	Kacamata jika tersedia, jas lab/apron, tangan kering
Larangan	Tidak menggunakan listrik PLN, tidak mencicipi larutan
Pencegahan	Gunakan baterai rendah, bersihkan elektroda
Tumpahan	Laporkan guru, bersihkan sesuai arahan
Limbah	Kumpulkan/buang sesuai instruksi
Darurat	Laporkan segera kepada guru

Guru dapat menyesuaikan format sesuai sekolah. Lembar K3 harus ringkas, jelas, dan mudah dibaca siswa.

6.9.12 AI untuk Menyusun Kuis Keselamatan Pra-Lab

Kuis keselamatan pra-lab membantu memastikan siswa memahami risiko sebelum praktikum. AI dapat membantu membuat kuis singkat yang menilai pemahaman siswa terhadap prosedur dan K3.

Prompt:

“Buat kuis keselamatan pra-lab untuk praktikum titrasi asam-basa siswa SMA. Buat 10 soal pilihan ganda dan 5 soal benar-salah tentang APD, penggunaan buret, larutan asam-basa encer, tumpahan, pembacaan meniskus, dan limbah. Sertakan kunci dan pembahasan singkat.”

Kuis pra-lab dapat mencakup:

1. Apa yang harus dilakukan jika larutan terkena kulit?
2. Mengapa buret harus dipasang tegak?
3. Mengapa meniskus dibaca sejajar mata?
4. Mengapa titran tidak boleh ditambahkan terlalu cepat mendekati titik akhir?
5. Apa yang dilakukan jika alat kaca pecah?
6. Mengapa larutan tidak boleh dicicipi?
7. Mengapa limbah tidak boleh dibuang sembarangan?

Kuis ini tidak hanya menguji hafalan, tetapi kesiapan praktikum. Guru dapat menjadikan kuis pra-lab sebagai syarat mengikuti praktikum tertentu.

6.9.13 AI untuk Menyusun Prosedur Darurat Sederhana

Laboratorium harus memiliki prosedur darurat. AI dapat membantu menyusun prosedur umum, tetapi harus disesuaikan dengan kebijakan institusi dan fasilitas yang tersedia. Prosedur darurat perlu mencakup tumpahan kecil, paparan kulit, paparan mata, luka kecil, pecahan kaca, kebakaran kecil, dan evakuasi.

Prompt:

"Buat prosedur darurat sederhana untuk laboratorium kimia sekolah. Sertakan tindakan awal untuk tumpahan kecil, terkena kulit, terkena mata, pecahan kaca, luka ringan, dan kebakaran kecil. Tekankan bahwa siswa harus segera melapor kepada guru."

Prosedur darurat harus jelas:

1. Hentikan kegiatan.
2. Jauhkan siswa dari sumber bahaya.
3. Laporkan kepada guru/laboran.
4. Gunakan fasilitas darurat sesuai prosedur.
5. Jangan menangani bahan berbahaya tanpa instruksi.
6. Catat kejadian jika diperlukan.
7. Evaluasi penyebab setelah aman.

Guru harus memastikan siswa mengetahui lokasi pencuci mata, pancuran darurat jika ada, kotak P3K, alat pemadam api, pintu keluar, dan jalur evakuasi. Jika fasilitas belum lengkap, sekolah perlu memperbaikinya sesuai standar keselamatan.

6.9.14 AI untuk Menyusun Pengelolaan Limbah Praktikum

Pengelolaan limbah merupakan bagian penting dari keselamatan dan etika lingkungan. Limbah praktikum tidak boleh dibuang sembarangan. Jenis limbah perlu diidentifikasi: asam-basa encer, garam, logam berat, pelarut organik, padatan, kaca pecah, bahan biologis, atau limbah rumah tangga. Setiap jenis memiliki perlakuan berbeda.

AI dapat membantu membuat rencana limbah awal. Prompt:

"Buat rencana pengelolaan limbah untuk praktikum reaksi pengendapan siswa SMA. Identifikasi kemungkinan limbah, risiko, cara pengumpulan, pelabelan, dan pembuangan sesuai prinsip laboratorium sekolah. Beri catatan bahwa aturan lokal harus diikuti."

Untuk praktikum sederhana, limbah mungkin relatif rendah risiko, tetapi tetap perlu dikelola. Untuk limbah yang mengandung ion logam tertentu, guru harus lebih berhati-hati. Jika tidak ada fasilitas limbah, pilih praktikum lain atau gunakan skala mikro dengan pengumpulan limbah.

Prinsip pengelolaan limbah:

1. Minimalkan jumlah bahan.
2. Pisahkan limbah sesuai jenis.
3. Labeli wadah limbah.
4. Jangan mencampur limbah yang tidak kompatibel.
5. Jangan membuang limbah berbahaya ke saluran air.
6. Gunakan wadah khusus untuk kaca pecah.
7. Ikuti kebijakan institusi.
8. Dokumentasikan limbah jika perlu.

AI dapat membantu membuat instruksi siswa, tetapi keputusan pembuangan harus mengikuti standar laboratorium.

6.9.15 AI untuk Menilai Kelayakan Praktikum Berdasarkan Risiko

Sebelum praktikum dilakukan, guru perlu menilai apakah kegiatan layak untuk siswa. AI dapat membantu membuat matriks risiko sederhana yang mempertimbangkan kemungkinan kejadian dan tingkat dampak. Namun, penilaian akhir tetap oleh guru.

Matriks sederhana:

Dampak	Kemungkinan Rendah	Kemungkinan Sedang	Kemungkinan Tinggi
Rendah	Risiko rendah	Risiko rendah-sedang	Risiko sedang
Sedang	Risiko sedang	Risiko sedang-tinggi	Risiko tinggi
Tinggi	Risiko tinggi	Risiko sangat tinggi	Tidak layak

Prompt:

“Nilai kelayakan praktikum berikut menggunakan matriks risiko sederhana. Pertimbangkan bahan, konsentrasi, alat, pemanasan, listrik, gas, limbah, dan jenjang siswa. Berikan rekomendasi: layak, layak dengan revisi, demonstrasi guru, virtual lab, atau tidak layak.”

Kategori keputusan:

1. **Layak**: risiko rendah dan prosedur jelas.
2. **Layak dengan revisi**: perlu pengurangan konsentrasi, jumlah bahan, atau modifikasi alat.
3. **Demonstrasi guru**: siswa mengamati, guru/laboran melakukan.
4. **Virtual lab**: risiko terlalu tinggi atau alat tidak tersedia.
5. **Tidak layak**: risiko tidak dapat dikendalikan.

Pendekatan ini membantu guru mengambil keputusan sistematis.

6.9.16 AI untuk Membuat Alternatif Lebih Aman

Jika suatu praktikum berisiko, AI dapat membantu mencari alternatif. Alternatif dapat berupa penggantian bahan, pengurangan skala, perubahan prosedur, demonstrasi guru, simulasi, atau analisis data sekunder.

Prompt:

“Praktikum berikut memiliki risiko tinggi untuk siswa SMA. Berikan alternatif yang lebih aman untuk mencapai tujuan pembelajaran yang sama. Pilihan dapat berupa bahan lebih aman, skala mikro, demonstrasi guru, virtual laboratory, atau analisis data. Jelaskan kelebihan dan keterbatasan setiap alternatif.”

Contoh:

- Jika reaksi langsung berisiko, gunakan video demonstrasi.
- Jika bahan mahal/berbahaya, gunakan simulasi.
- Jika alat presisi tidak tersedia, gunakan data sekunder.
- Jika volume bahan terlalu besar, gunakan skala mikro.
- Jika pemanasan berisiko, gunakan penangas air atau eksperimen suhu ruang.

Guru harus memilih alternatif yang tetap mencapai tujuan. Jika tujuan praktikum adalah memahami konsep, simulasi mungkin cukup. Jika tujuan adalah keterampilan alat, perlu praktikum nyata dengan alat aman.

6.9.17 AI dan Etika Keselamatan dalam Praktikum

Penggunaan AI dalam praktikum membawa tanggung jawab etis. Guru tidak boleh menggunakan AI untuk membuat prosedur tanpa validasi. Siswa tidak boleh menggunakan AI untuk melakukan eksperimen di luar pengawasan. AI juga tidak boleh digunakan untuk mencari cara melakukan percobaan berbahaya tanpa fasilitas memadai.

Etika keselamatan mencakup:

1. Tidak melakukan percobaan berisiko tanpa pengawasan.
2. Tidak mencampur bahan di luar instruksi.
3. Tidak menggunakan bahan tidak berlabel.
4. Tidak mengabaikan APD.
5. Tidak menyembunyikan kecelakaan atau tumpahan.
6. Tidak membuat data palsu dengan AI.
7. Tidak membagikan prosedur berbahaya kepada siswa.
8. Tidak mengejar efek spektakuler dengan mengorbankan keselamatan.
9. Tidak menggunakan AI sebagai pembenaran jika prosedur tidak aman.
10. Selalu memprioritaskan kesehatan dan lingkungan.

Guru dapat memasukkan pernyataan etika dalam LKPD:

“AI boleh digunakan untuk membantu memahami konsep dan menganalisis data, tetapi tidak boleh digunakan untuk merancang percobaan di luar persetujuan guru, membuat data palsu, atau mengabaikan prosedur keselamatan.”

Pernyataan ini penting dalam era akses AI yang luas.

6.9.18 Keselamatan dalam Pembelajaran Praktikum di Luar Laboratorium

Kadang-kadang praktikum dilakukan di luar laboratorium, misalnya di kelas, rumah, atau lingkungan sekitar. Praktikum di luar laboratorium harus lebih hati-hati karena fasilitas keselamatan lebih terbatas. Guru harus memilih aktivitas berisiko rendah, menggunakan bahan aman, dan memberi instruksi yang sangat jelas.

AI dapat membantu merancang aktivitas luar laboratorium yang aman. Prompt:

"Rancang aktivitas kimia sederhana di kelas tanpa laboratorium untuk topik asam-basa. Gunakan bahan aman, tanpa pemanasan, tanpa gas berbahaya, tanpa listrik, dan sertakan K3 serta batas kesimpulan."

Untuk praktikum rumah, guru harus lebih ketat. Tidak semua siswa memiliki pengawasan orang dewasa, alat yang sesuai, atau ruang aman. Aktivitas rumah sebaiknya berupa pengamatan sederhana, analisis data, simulasi, atau proyek non-berbahaya. Hindari instruksi yang melibatkan pemanasan, bahan pembersih, listrik, gas, kaca tajam, atau reaksi tidak terkontrol.

Jika risiko tidak dapat dikendalikan, gunakan virtual laboratory.

6.9.19 Validasi Keselamatan Praktikum Berbantuan AI

Setiap praktikum berbantuan AI harus divalidasi dengan daftar cek keselamatan. Validasi harus dilakukan sebelum siswa menerima LKPD atau prosedur. Daftar cek dapat mencakup:

1. Apakah semua bahan teridentifikasi jelas?
2. Apakah konsentrasi bahan diketahui?
3. Apakah SDS sudah diperiksa untuk bahan kimia relevan?
4. Apakah bahan sesuai jenjang siswa?
5. Apakah ada risiko gas/uap?
6. Apakah ada pemanasan?
7. Apakah ada listrik?
8. Apakah alat kaca aman?
9. Apakah APD tersedia?
10. Apakah prosedur tumpahan jelas?
11. Apakah limbah dikelola?
12. Apakah instruksi tidak ambigu?
13. Apakah siswa sudah mendapat pra-lab safety briefing?
14. Apakah guru/laboran sudah menguji prosedur?
15. Apakah ada alternatif lebih aman?
16. Apakah prosedur tidak mendorong improvisasi berbahaya?
17. Apakah virtual lab lebih tepat untuk eksperimen ini?
18. Apakah penggunaan AI transparan dan etis?

Prompt validasi:

“Tinjau praktikum berbantuan AI berikut dari aspek keselamatan. Periksa bahan, konsentrasi, alat, pemanasan, listrik, gas, APD, tumpahan, limbah, jenjang siswa, dan alternatif lebih aman. Berikan keputusan: layak, layak dengan revisi, demonstrasi guru, virtual laboratory, atau tidak layak.”

Keputusan ini harus dikonfirmasi oleh guru/laboran berdasarkan kondisi nyata.

6.9.20 Prinsip Akhir Keselamatan Praktikum Berbantuan AI

Prinsip akhir keselamatan praktikum berbantuan AI dapat dirumuskan sebagai berikut. Pertama, keselamatan lebih utama daripada kelengkapan materi. Kedua, AI tidak boleh menjadi satu-satunya rujukan keselamatan. Ketiga, SDS dan standar institusi harus dijadikan rujukan utama. Keempat, gunakan bahan paling aman dan jumlah sekecil mungkin. Kelima, hindari eksperimen berbahaya bagi siswa. Keenam, gunakan virtual laboratory jika risiko nyata terlalu tinggi. Ketujuh, semua prosedur AI harus divalidasi guru dan laboran. Kedelapan, siswa harus mendapat instruksi K3 sebelum praktikum. Kesembilan, limbah harus dikelola dengan benar. Kesepuluh, penggunaan AI harus etis dan tidak boleh digunakan untuk memalsukan data atau mengabaikan prosedur.

Dengan demikian, AI dapat membantu memperkuat keselamatan kerja laboratorium jika digunakan secara tepat. AI dapat membantu mengidentifikasi risiko, menyusun lembar K3, membuat kuis pra-lab, merancang alternatif lebih aman, dan menyiapkan panduan limbah. Namun, keselamatan tetap merupakan tanggung jawab manusia yang memahami konteks nyata laboratorium. Guru dan laboran harus menjadi pengambil keputusan akhir agar praktikum kimia berbantuan AI tetap aman, edukatif, dan bertanggung jawab.

6.10 Contoh Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI

Proyek praktikum kimia berbasis AI merupakan bentuk pengembangan pembelajaran eksperimen yang mengintegrasikan kegiatan laboratorium, pemecahan masalah, analisis data, literasi digital, dan pemanfaatan AI secara etis. Dalam proyek semacam ini, AI tidak diposisikan sebagai pengganti praktikum, melainkan sebagai pendukung proses ilmiah. AI dapat membantu siswa merancang percobaan, menyusun hipotesis, memeriksa variabel, membuat tabel data, membantu analisis grafik, memberi umpan balik terhadap kesimpulan, serta membantu merefleksikan keterbatasan eksperimen. Namun, data tetap harus berasal dari pengamatan nyata atau dari simulasi yang dinyatakan secara eksplisit sebagai data simulatif.

Proyek praktikum kimia berbasis AI perlu dirancang dengan prinsip keselamatan, validitas ilmiah, dan integritas akademik. Guru harus memastikan bahwa proyek tidak mendorong siswa melakukan eksperimen berisiko tanpa pengawasan. AI juga tidak boleh digunakan untuk membuat data palsu, memalsukan laporan, atau mengganti proses berpikir ilmiah. Penggunaan AI harus transparan: siswa perlu mencatat bagian mana yang dibantu AI, data apa yang digunakan, bagaimana hasil AI diverifikasi, dan keputusan apa yang tetap dibuat oleh siswa atau kelompok.

Dalam konteks pembelajaran kimia, proyek berbasis AI dapat dikembangkan untuk berbagai topik, misalnya larutan elektrolit, asam-basa, indikator alami, laju reaksi, korosi, pemisahan campuran, kualitas air sederhana, termokimia sederhana, virtual laboratory titrasi, atau pemodelan molekul. Proyek dapat dilakukan dalam bentuk praktikum nyata, kombinasi praktikum nyata dan simulasi,

atau proyek virtual jika praktikum nyata tidak memungkinkan. Yang penting, proyek tetap memuat proses ilmiah: pertanyaan, hipotesis, variabel, prosedur, data, analisis, kesimpulan, refleksi, dan validasi.

6.10.1 Prinsip Desain Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI

Proyek praktikum kimia berbasis AI harus dirancang dengan prinsip yang jelas. Pertama, proyek harus berangkat dari masalah atau pertanyaan investigatif. Siswa perlu mengetahui apa yang ingin diselidiki. Kedua, proyek harus memiliki tujuan pembelajaran yang eksplisit. Ketiga, proyek harus aman dan sesuai jenjang. Keempat, proyek harus menghasilkan data yang dapat dianalisis. Kelima, proyek harus melibatkan penggunaan AI secara terarah, bukan sekadar tambahan kosmetik.

Keenam, proyek harus memuat refleksi etika penggunaan AI. Siswa perlu membedakan bantuan yang diperbolehkan dan tidak diperbolehkan. AI boleh membantu menyusun tabel, memberi pertanyaan pemandu, menjelaskan konsep, atau membantu membaca grafik. AI tidak boleh membuat data palsu, menyusun kesimpulan tanpa data, atau mengganti pengamatan. Ketujuh, proyek harus dinilai dengan rubrik yang mencakup proses, data, analisis, keselamatan, kerja sama, penggunaan AI, dan kualitas kesimpulan.

Struktur proyek dapat dibuat sebagai berikut:

1. Judul proyek.
2. Latar belakang masalah.
3. Pertanyaan investigatif.
4. Tujuan.
5. Konsep kimia terkait.
6. Hipotesis.
7. Variabel.
8. Alat dan bahan.
9. K3.
10. Prosedur.
11. Data pengamatan.
12. Analisis data.
13. Penggunaan AI dan verifikasi.
14. Kesimpulan berbasis bukti.
15. Refleksi.
16. Rubrik penilaian.

AI dapat membantu menyusun semua bagian tersebut, tetapi guru perlu memvalidasi keseluruhan rancangan.

6.10.2 Contoh Proyek 1: Uji Elektrolit Berbantuan AI

Proyek uji elektrolit cocok untuk siswa SMA karena relatif sederhana dan dapat menghubungkan pengamatan makroskopik dengan konsep ionisasi. Pertanyaan investigatifnya dapat dirumuskan sebagai berikut: “Apakah semua zat yang larut dalam air dapat menghantarkan listrik?”

Tujuan proyek:

1. Menguji daya hantar listrik beberapa larutan.
2. Mengklasifikasikan larutan sebagai elektrolit kuat, elektrolit lemah, atau nonelektrolit.
3. Menghubungkan daya hantar listrik dengan keberadaan ion bebas.
4. Menggunakan AI untuk membantu menyusun tabel, membaca pola data, dan merefleksikan hasil.

Alat dan bahan dapat meliputi alat uji elektrolit sederhana dengan sumber listrik tegangan rendah, elektroda, larutan garam dapur encer, larutan gula, cuka encer, air suling, dan larutan lain yang aman sesuai arahan guru. Keselamatan harus ditekankan: gunakan tegangan rendah, jangan menggunakan listrik PLN langsung, tangan harus kering, larutan tidak boleh dicicipi, dan elektroda harus dibersihkan setiap pergantian larutan.

Data dapat dicatat dalam tabel berikut:

Larutan	Prediksi	Nyala Lampu	Gelembung	Klasifikasi	Penjelasan Partikel
NaCl encer					
Gula					
Cuka encer					
Air suling					

Peran AI dalam proyek ini:

1. Membantu siswa membuat tabel pengamatan.
2. Membantu membaca pola data.
3. Memberi pertanyaan pemandu: “Larutan mana yang menghasilkan ion bebas lebih banyak?”
4. Membantu siswa membedakan elektrolit kuat, lemah, dan nonelektrolit.
5. Membantu menulis refleksi tentang miskonsepsi bahwa semua zat larut menghantarkan listrik.

Prompt yang dapat digunakan siswa:

“Berdasarkan data uji elektrolit berikut, bantu saya mengidentifikasi pola. Jangan membuat data baru. Tanyakan kepada saya data mana yang mendukung klasifikasi sebelum membantu menyusun kesimpulan.”

Kesimpulan harus berbasis data. Misalnya, jika larutan garam menyalakan lampu terang, sedangkan gula tidak, siswa dapat menyimpulkan bahwa tidak semua zat yang larut dalam air menghantarkan listrik. Daya hantar listrik larutan berkaitan dengan keberadaan ion bebas yang bergerak.

6.10.3 Contoh Proyek 2: Indikator Alami Asam-Basa Berbantuan AI

Proyek indikator alami sangat sesuai untuk sekolah dengan fasilitas terbatas karena dapat menggunakan bahan lokal yang relatif aman. Pertanyaan investigatif dapat dirumuskan: "Bagaimana ekstrak indikator alami berubah warna pada larutan asam dan basa?"

Tujuan proyek:

1. Membuat indikator alami dari bahan tumbuhan berwarna.
2. Menguji perubahan warna indikator pada beberapa larutan.
3. Mengelompokkan larutan berdasarkan sifat asam, netral, atau basa.
4. Menjelaskan keterbatasan indikator alami.
5. Menggunakan AI untuk membantu membuat tabel warna dan menyusun interpretasi.

Bahan yang dapat digunakan misalnya ekstrak kol ungu atau bahan tumbuhan lokal yang aman dan telah diuji guru. Larutan uji dapat berupa cuka encer, air jeruk, air mineral, larutan soda kue encer, dan larutan sabun encer. Hindari bahan pembersih berbahaya atau campuran bahan yang tidak jelas komposisinya.

Tabel data:

Larutan Uji	Prediksi Sifat	Warna Setelah Ditetesi Indikator	Klasifikasi	Alasan
Cuka encer				
Air jeruk				
Air mineral				
Soda kue encer				
Sabun encer				

Peran AI:

1. Membantu menyusun rancangan tabel.
2. Membantu siswa membandingkan warna.
3. Membantu membuat pertanyaan analisis.
4. Membantu menyusun batas kesimpulan.
5. Membantu menulis refleksi tentang keterbatasan indikator alami.

Prompt yang dapat digunakan:

"Bantu saya menafsirkan data warna indikator alami berikut. Jangan menentukan pH numerik jika data hanya berupa warna. Bantu saya menulis kesimpulan yang hati-hati dan sesuai batas data."

Batas kesimpulan perlu ditegaskan. Indikator alami dapat membantu mengelompokkan larutan secara kualitatif, tetapi tidak memberikan nilai pH presisi seperti pH meter yang terkalibrasi. Warna juga dapat dipengaruhi konsentrasi ekstrak, jenis bahan, dan pencahayaan.

6.10.4 Contoh Proyek 3: Pengaruh Suhu terhadap Laju Reaksi

Proyek laju reaksi dapat dikembangkan menjadi praktikum inkuiri terbimbing. Pertanyaan investigatif: "Bagaimana pengaruh suhu terhadap waktu reaksi?"

Tujuan proyek:

1. Mengamati pengaruh suhu terhadap laju reaksi.
2. Mengidentifikasi variabel bebas, terikat, dan kontrol.
3. Mengumpulkan data waktu reaksi.
4. Membuat grafik hubungan suhu dan waktu atau suhu dan laju relatif.
5. Menjelaskan hasil dengan teori tumbukan.
6. Menggunakan AI untuk membantu analisis data dan interpretasi grafik.

Variabel:

Jenis Variabel	Keterangan
Variabel bebas	Suhu
Variabel terikat	Waktu reaksi atau laju relatif
Variabel kontrol	Volume, konsentrasi, jenis pereaksi, cara pengadukan, ukuran wadah

Tabel data:

Suhu (°C) Waktu 1 (s) Waktu 2 (s) Rata-Rata Waktu (s) Laju Relatif (1/s)

Peran AI:

1. Membantu menghitung rata-rata.
2. Membantu menghitung laju relatif.
3. Membantu memilih grafik.
4. Membantu membaca pola.
5. Membantu menghubungkan data dengan teori tumbukan.
6. Membantu mengidentifikasi kemungkinan sumber kesalahan.

Prompt:

"Berdasarkan data suhu dan waktu reaksi berikut, bantu saya menghitung rata-rata dan laju relatif. Setelah itu, bantu saya membaca pola data dengan menyebutkan bukti angka. Jangan membuat data baru."

Interpretasi yang diharapkan:

Jika suhu meningkat dan waktu reaksi menurun, maka laju reaksi meningkat. Secara konsep, suhu yang lebih tinggi meningkatkan energi kinetik partikel, sehingga frekuensi dan energi tumbukan efektif meningkat.

Sumber kesalahan yang dapat dibahas:

1. Suhu tidak stabil.
2. Stopwatch terlambat dinyalakan.
3. Volume larutan tidak sama.
4. Pengadukan tidak konsisten.
5. Pengamatan titik akhir reaksi subjektif.

6.10.5 Contoh Proyek 4: Korosi Besi Berbasis Observasi Jangka Pendek

Korosi merupakan proyek yang sangat kontekstual karena berkaitan dengan kehidupan sehari-hari. Pertanyaan investigatif: "Bagaimana lingkungan memengaruhi proses korosi besi?"

Tujuan proyek:

1. Mengamati korosi besi pada kondisi berbeda.
2. Membandingkan pengaruh air, garam, dan udara.
3. Menghubungkan korosi dengan reaksi redoks.
4. Mengembangkan kemampuan observasi berkala.
5. Menggunakan AI untuk membantu menyusun tabel pengamatan dan analisis pola.

Contoh kondisi:

Kondisi	Deskripsi
A	Paku dalam kondisi kering
B	Paku dalam air
C	Paku dalam air garam encer
D	Paku dalam air yang permukaannya diberi minyak, jika sesuai arahan guru

Keselamatan:

1. Gunakan paku dengan hati-hati agar tidak melukai.
2. Jangan menggunakan wadah makanan untuk bahan praktikum.
3. Beri label setiap wadah.
4. Jangan menyentuh karat atau larutan tanpa mencuci tangan setelahnya.
5. Buang bahan sesuai arahan guru.

Tabel pengamatan:

Hari	Kondisi A	Kondisi B	Kondisi C	Kondisi D	Catatan
1					
2					
3					
4					

Peran AI:

1. Membantu menyusun format pengamatan harian.
2. Membantu membandingkan pola antar kondisi.
3. Membantu menulis analisis hubungan air, oksigen, ion, dan korosi.
4. Membantu menyusun refleksi tentang keterbatasan data.

Prompt:

“Bantu saya menganalisis data observasi korosi berikut. Jelaskan pola yang tampak, kemungkinan faktor penyebab, dan batas kesimpulan. Jangan membuat data tambahan.”

Batas kesimpulan penting karena praktikum korosi sederhana bersifat kualitatif dan dipengaruhi jenis paku, lapisan permukaan, suhu, kualitas air, serta lama pengamatan.

6.10.6 Contoh Proyek 5: Virtual Laboratory Titrasi Asam-Basa

Jika alat titrasi terbatas, virtual laboratory dapat digunakan untuk mengenalkan konsep titrasi. Pertanyaan investigatif: “Bagaimana volume titran digunakan untuk menentukan konsentrasi larutan?”

Tujuan proyek:

1. Memahami prinsip titrasi asam-basa.
2. Mengamati perubahan pH selama titrasi.
3. Membedakan titik akhir dan titik ekuivalen.
4. Membaca kurva titrasi.
5. Menggunakan AI untuk membantu interpretasi data virtual.

Aktivitas:

1. Siswa menjalankan simulasi titrasi asam kuat-basa kuat.
2. Siswa mencatat volume titran dan pH.
3. Siswa membuat kurva titrasi.
4. Siswa menentukan titik ekuivalen.
5. Siswa menjawab pertanyaan analisis.
6. Siswa menulis refleksi keterbatasan simulasi.

Tabel data:

Volume Titran (mL)	pH
0	
5	
10	
15	
20	
25	

Peran AI:

1. Membantu membaca kurva titrasi.
2. Menjelaskan titik ekuivalen.
3. Menjelaskan perbedaan titik akhir dan titik ekuivalen.
4. Membantu menyusun kesimpulan.
5. Membantu membahas keterbatasan virtual laboratory.

Prompt:

“Bantu saya menafsirkan data virtual titrasi berikut. Jelaskan bagian kurva, titik ekuivalen, perubahan pH, dan keterbatasan simulasi. Jangan memperlakukan data simulasi sebagai data praktikum nyata.”

Keterbatasan simulasi:

1. Data virtual sering ideal.
2. Tidak melatih keterampilan membaca buret.
3. Tidak melatih pengamatan perubahan warna indikator nyata.
4. Tidak menunjukkan kesalahan pengukuran nyata.
5. Tetap membutuhkan praktikum nyata jika tujuan mencakup keterampilan laboratorium.

6.10.7 Contoh Proyek 6: Pemisahan Campuran dengan Kromatografi Kertas

Kromatografi kertas merupakan proyek sederhana untuk menjelaskan pemisahan campuran berdasarkan perbedaan interaksi komponen dengan fase diam dan fase gerak. Pertanyaan investigatif: “Apakah tinta berwarna tersusun dari satu zat warna atau campuran beberapa zat warna?”

Tujuan proyek:

1. Memisahkan komponen warna pada tinta.
2. Mengamati perbedaan jarak migrasi warna.
3. Menjelaskan prinsip fase diam dan fase gerak.
4. Menggunakan AI untuk membantu menafsirkan hasil pemisahan.

Alat dan bahan dapat meliputi kertas kromatografi atau kertas penyerap yang sesuai, spidol larut air, air sebagai pelarut jika sesuai, gelas kecil, pensil, dan penggaris. Hindari pelarut organik mudah terbakar jika fasilitas tidak memadai.

Tabel data:

Sampel Tinta	Warna Awal	Warna yang Terpisah	Jarak Pelarut	Jarak Noda	Catatan

Peran AI:

1. Membantu menyusun tabel pengamatan.
2. Membantu menafsirkan mengapa warna terpisah.
3. Membantu menulis batas kesimpulan.
4. Membantu membuat pertanyaan lanjutan.

Prompt:

“Bantu saya menafsirkan hasil kromatografi kertas berikut. Jelaskan prinsip pemisahan berdasarkan perbedaan interaksi dengan kertas dan pelarut. Jangan menyimpulkan identitas zat warna secara pasti jika hanya berdasarkan warna.”

Batas kesimpulan penting. Kromatografi sederhana dapat menunjukkan bahwa tinta merupakan campuran beberapa zat warna, tetapi tidak cukup untuk mengidentifikasi senyawa secara pasti tanpa pembanding dan metode lanjutan.

6.10.8 Contoh Proyek 7: Kualitas Air Sederhana Berbasis Data

Proyek kualitas air sederhana dapat menghubungkan kimia dengan lingkungan. Namun, proyek ini harus dirancang hati-hati agar tidak membuat klaim berlebihan. Pertanyaan investigatif: “Apa informasi kimia sederhana yang dapat diperoleh dari pengamatan pH, kekeruhan, dan daya hantar relatif sampel air?”

Tujuan proyek:

1. Mengamati beberapa parameter sederhana air.
2. Membandingkan pH, kekeruhan visual, dan daya hantar relatif jika alat tersedia.
3. Menyusun data dalam tabel.
4. Menjelaskan batas interpretasi.
5. Menggunakan AI untuk membantu analisis dan penulisan kesimpulan hati-hati.

Parameter:

Parameter	Makna Terbatas
pH	Tingkat keasaman/kebasaan
Kekeruhan visual	Indikasi partikel tersuspensi yang tampak
Daya hantar relatif	Indikasi keberadaan ion terlarut secara kualitatif

Tabel data:

Sampel Air pH Kekeruhan Visual Daya Hantar Relatif Catatan

Peran AI:

1. Membantu menyusun tabel.
2. Membantu membaca pola.

3. Membantu menulis kesimpulan terbatas.
4. Membantu menghindari klaim berlebihan.

Prompt:

“Bantu saya menganalisis data kualitas air sederhana berikut. Jelaskan apa yang dapat disimpulkan dan apa yang tidak boleh disimpulkan dari data pH, kekeruhan visual, dan daya hantar relatif. Jangan menyatakan air layak minum hanya berdasarkan data ini.”

Kesimpulan yang benar harus hati-hati. Data pH, kekeruhan, dan daya hantar relatif tidak cukup untuk menyatakan air aman diminum karena tidak menguji mikroorganisme, logam berat, pestisida, dan kontaminan lainnya.

6.10.9 Contoh Proyek 8: Pemodelan Molekul untuk Mendukung Praktikum

AI juga dapat digunakan dalam proyek yang menggabungkan praktikum sederhana dengan pemodelan molekul. Misalnya, setelah praktikum uji kelarutan atau polaritas, siswa menggunakan aplikasi visualisasi molekul dan AI untuk memahami struktur molekul.

Pertanyaan investigatif: “Bagaimana struktur dan polaritas molekul membantu menjelaskan kelarutan zat?”

Tujuan proyek:

1. Mengamati kelarutan beberapa zat sederhana dalam air.
2. Membandingkan struktur molekul secara visual.
3. Menghubungkan polaritas dengan kelarutan secara konseptual.
4. Menggunakan AI untuk membantu interpretasi model molekul.

Aktivitas:

1. Siswa mengamati kelarutan beberapa zat aman.
2. Siswa melihat model molekul air, etanol, minyak model, atau molekul sederhana lain melalui perangkat visualisasi.
3. Siswa menggunakan AI untuk membantu memahami polaritas dan gaya antarmolekul.
4. Siswa menyusun kesimpulan berbasis data dan model.

Prompt:

“Jelaskan hubungan struktur molekul, polaritas, gaya antarmolekul, dan kelarutan berdasarkan data praktikum sederhana berikut. Gunakan bahasa siswa SMA dan sebutkan keterbatasan model molekul.”

Guru perlu memastikan bahwa model molekul yang digunakan benar dan tidak menimbulkan miskonsepsi. AI dapat membantu menjelaskan, tetapi model struktur sebaiknya berasal dari perangkat kimia yang valid.

6.10.10 Format Laporan Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI

Laporan proyek praktikum berbasis AI perlu memuat komponen ilmiah dan komponen transparansi AI. Format laporan dapat disusun sebagai berikut:

1. Judul proyek.
2. Nama anggota kelompok.
3. Latar belakang.
4. Pertanyaan investigatif.
5. Tujuan.
6. Dasar teori singkat.
7. Hipotesis.
8. Variabel.
9. Alat dan bahan.
10. K3.
11. Prosedur.
12. Data pengamatan asli.
13. Analisis data.
14. Grafik atau tabel.
15. Interpretasi hasil.
16. Kesimpulan berbasis bukti.
17. Sumber kesalahan.
18. Keterbatasan eksperimen.
19. Penggunaan AI.
20. Verifikasi hasil AI.
21. Refleksi kelompok.
22. Daftar pustaka.

Bagian penggunaan AI dapat dibuat dalam tabel:

Bagian Laporan	Bantuan AI yang Digunakan	Hasil AI Diverifikasi dengan	Catatan
Tabel data	Merapikan format tabel	Data asli kelompok	Data tidak diubah
Grafik	Saran jenis grafik	Diskusi guru/kelompok	Grafik dibuat dari data asli
Analisis	Pertanyaan pemandu	Buku/LKPD/data	Kesimpulan ditulis ulang oleh kelompok

Format ini membantu menjaga integritas akademik. Siswa belajar menggunakan AI secara bertanggung jawab, bukan secara tersembunyi.

6.10.11 Rubrik Penilaian Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI

Penilaian proyek harus mencakup proses dan produk. AI dapat membantu membuat rubrik, tetapi guru harus menyesuaikan dengan tujuan. Rubrik dapat mencakup aspek berikut:

Aspek	Indikator Utama

Pertanyaan investigatif	Jelas, dapat diuji, sesuai konsep
Hipotesis	Menghubungkan variabel dan alasan ilmiah
Variabel	Bebas, terikat, dan kontrol diidentifikasi benar
Keselamatan	K3 dipatuhi dan risiko dikelola
Data	Asli, lengkap, rapi, dan jujur
Analisis	Menggunakan data sebagai bukti
Grafik/tabel	Tepat, jelas, dan sesuai satuan
Konsep kimia	Penjelasan akurat
Penggunaan AI	Transparan, etis, dan diverifikasi
Kesimpulan	Sesuai data dan tidak berlebihan
Refleksi	Mengakui keterbatasan dan sumber kesalahan
Kerja sama	Pembagian tugas dan komunikasi baik

Skala penilaian dapat menggunakan 1–4:

- 4 = sangat baik, lengkap, akurat, dan berbasis bukti.
- 3 = baik, sebagian kecil perlu perbaikan.
- 2 = cukup, masih ada kelemahan konsep atau analisis.
- 1 = kurang, data/analisis tidak memadai atau tidak sesuai prosedur.

Rubrik harus diberikan sebelum proyek agar siswa memahami ekspektasi.

6.10.12 Etika Penggunaan AI dalam Proyek Praktikum

Etika penggunaan AI harus menjadi bagian eksplisit dari proyek. Siswa perlu memahami bahwa AI dapat digunakan untuk membantu belajar, tetapi tidak boleh menggantikan integritas ilmiah. Data harus dicatat apa adanya. Hasil yang tidak sesuai prediksi tetap harus dilaporkan. AI tidak boleh digunakan untuk membuat data, menghapus data menyimpang tanpa alasan, atau menyusun kesimpulan yang tidak dipahami siswa.

Aturan etika dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Data praktikum harus berasal dari pengamatan kelompok.
2. AI tidak boleh membuat data fiktif.
3. AI boleh membantu merapikan tabel, tetapi tidak boleh mengubah data.
4. AI boleh membantu memberi pertanyaan pemandu analisis.
5. AI boleh membantu menjelaskan konsep, tetapi siswa harus memverifikasi.
6. AI boleh membantu memperbaiki bahasa laporan, tetapi isi ilmiah tetap tanggung jawab siswa.
7. Semua penggunaan AI harus dicatat.
8. Kesimpulan harus didukung data.
9. Sumber kesalahan harus ditulis jujur.
10. Guru berhak meminta siswa menjelaskan laporan secara lisan.

Dengan aturan seperti ini, AI menjadi alat literasi ilmiah, bukan alat manipulasi akademik.

6.10.13 Peran Guru dalam Proyek Praktikum Berbasis AI

Guru memiliki peran sentral dalam proyek praktikum berbasis AI. Guru tidak hanya memberi tugas, tetapi juga mengarahkan cara penggunaan AI, memvalidasi prosedur, memastikan keselamatan, memeriksa data, memberi umpan balik, dan menilai integritas proses.

Peran guru meliputi:

1. Menentukan topik proyek.
2. Menetapkan batas keselamatan.
3. Menyediakan atau menyetujui alat dan bahan.
4. Menyusun atau memvalidasi LKPD.
5. Mengajarkan cara menggunakan AI secara etis.
6. Mengawasi praktikum.
7. Memastikan data dicatat di laboratorium.
8. Membantu siswa membaca data.
9. Memeriksa kesimpulan.
10. Menilai proses dan laporan.

Guru juga perlu melakukan *checkpoint* selama proyek. Misalnya:

- Checkpoint 1: persetujuan rancangan.
- Checkpoint 2: pemeriksaan variabel dan K3.
- Checkpoint 3: pemeriksaan data mentah.
- Checkpoint 4: pemeriksaan analisis awal.
- Checkpoint 5: presentasi hasil.

Checkpoint membantu mencegah siswa langsung menyerahkan laporan akhir yang dibuat AI tanpa proses ilmiah yang jelas.

6.10.14 Peran Siswa dalam Proyek Praktikum Berbasis AI

Siswa berperan sebagai penyelidik. Mereka harus aktif merumuskan masalah, membuat prediksi, melakukan pengamatan, mencatat data, menganalisis hasil, dan mempresentasikan kesimpulan. AI hanya membantu proses tertentu, bukan menggantikan tanggung jawab siswa.

Tanggung jawab siswa:

1. Memahami tujuan proyek.
2. Mematuhi K3.
3. Melakukan prosedur sesuai arahan.
4. Mencatat data asli.
5. Membagi tugas kelompok.
6. Menggunakan AI secara transparan.
7. Memverifikasi hasil AI.
8. Menyusun kesimpulan berbasis data.

9. Menyebut keterbatasan eksperimen.
10. Menjelaskan hasil secara lisan jika diminta.

Siswa perlu memahami bahwa penggunaan AI yang baik bukan berarti menerima jawaban mentah. Mereka harus bertanya, mengecek, membandingkan dengan data, dan memperbaiki. Dalam proyek praktikum, AI dapat menjadi rekan berpikir, tetapi data dan keputusan ilmiah tetap berada pada siswa.

6.10.15 Presentasi Hasil Proyek Berbasis AI

Presentasi hasil proyek penting untuk melatih komunikasi ilmiah. Siswa dapat mempresentasikan latar belakang, pertanyaan, metode, data, grafik, analisis, kesimpulan, keterbatasan, dan penggunaan AI. Presentasi juga memberi kesempatan bagi kelompok lain untuk bertanya dan mengkritisi.

Format presentasi:

1. Judul dan pertanyaan investigatif.
2. Tujuan.
3. Variabel.
4. Prosedur singkat.
5. K3.
6. Data utama.
7. Grafik/tabel.
8. Interpretasi.
9. Kesimpulan.
10. Keterbatasan.
11. Peran AI.
12. Verifikasi hasil AI.

Pertanyaan diskusi:

1. Data mana yang paling mendukung kesimpulan?
2. Apakah ada data menyimpang?
3. Bagaimana AI digunakan?
4. Bagaimana hasil AI diverifikasi?
5. Apa yang akan diperbaiki jika proyek diulang?
6. Apakah kesimpulan terlalu luas?

Dengan presentasi, guru dapat menilai apakah siswa benar-benar memahami proyek atau hanya menyerahkan laporan.

6.10.16 Integrasi Proyek AI dengan Virtual Laboratory

Proyek praktikum berbasis AI dapat mengintegrasikan virtual laboratory. Misalnya, siswa melakukan simulasi terlebih dahulu, lalu praktikum nyata. Atau jika praktikum nyata tidak

memungkinkan, siswa menggunakan virtual lab dan menganalisis data simulasi dengan jelas sebagai data simulatif.

Contoh integrasi:

1. Siswa menjalankan simulasi laju reaksi.
2. Siswa memprediksi hasil praktikum nyata.
3. Siswa melakukan praktikum sederhana.
4. Siswa membandingkan data simulasi dan data nyata.
5. Siswa menggunakan AI untuk membantu membaca perbedaan.
6. Siswa menulis refleksi tentang model dan realitas.

Pertanyaan refleksi:

1. Apakah pola simulasi dan praktikum nyata sama?
2. Mengapa data nyata lebih bervariasi?
3. Apa yang disederhanakan oleh simulasi?
4. Apa kelebihan praktikum nyata?
5. Apa kelebihan virtual lab?
6. Bagaimana AI membantu memahami keduanya?

Integrasi seperti ini sangat baik untuk membangun literasi model, literasi data, dan literasi AI.

6.10.17 Tantangan Proyek Praktikum Berbasis AI

Proyek praktikum berbasis AI memiliki tantangan. Pertama, siswa dapat terlalu bergantung pada AI. Kedua, siswa dapat menggunakan AI untuk membuat laporan tanpa memahami isi. Ketiga, siswa dapat tergoda membuat data palsu. Keempat, guru perlu waktu untuk memvalidasi prosedur dan laporan. Kelima, tidak semua siswa memiliki akses perangkat atau internet yang sama. Keenam, AI dapat memberi penjelasan yang salah. Ketujuh, keselamatan tetap menjadi tanggung jawab guru.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, guru dapat menerapkan strategi:

1. Gunakan log penggunaan AI.
2. Wajibkan data mentah ditulis saat praktikum.
3. Lakukan diskusi lisan.
4. Berikan rubrik proses.
5. Gunakan checkpoint.
6. Batasi jenis bantuan AI.
7. Minta siswa memverifikasi hasil AI.
8. Gunakan tugas refleksi individual.
9. Awasi keselamatan secara langsung.
10. Gunakan alternatif offline jika akses terbatas.

Dengan strategi ini, proyek berbasis AI tetap menjaga integritas pembelajaran.

6.10.18 Validasi Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI

Validasi proyek perlu dilakukan pada tiga tahap: sebelum, selama, dan sesudah praktikum.

Sebelum praktikum, validasi meliputi:

1. Apakah topik aman?
2. Apakah alat dan bahan sesuai?
3. Apakah prosedur jelas?
4. Apakah variabel benar?
5. Apakah K3 memadai?
6. Apakah limbah dikelola?
7. Apakah peran AI jelas?

Selama praktikum, validasi meliputi:

1. Apakah siswa mengikuti prosedur?
2. Apakah data dicatat langsung?
3. Apakah alat digunakan aman?
4. Apakah ada perubahan yang perlu dihentikan?
5. Apakah guru mengamati proses kelompok?

Sesudah praktikum, validasi meliputi:

1. Apakah analisis sesuai data?
2. Apakah grafik benar?
3. Apakah kesimpulan tidak berlebihan?
4. Apakah penggunaan AI transparan?
5. Apakah sumber kesalahan dibahas?
6. Apakah siswa dapat menjelaskan hasil secara lisan?

Validasi menyeluruh menjadikan proyek AI lebih aman dan bermakna.

6.10.19 Template Prompt untuk Merancang Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI

Guru dapat menggunakan template prompt berikut:

“Bertindaklah sebagai guru kimia dan perancang praktikum berbasis inkuiri. Rancang proyek praktikum kimia berbasis AI untuk topik [topik] pada jenjang [SMP/SMA/PT]. Proyek harus aman, edukatif, dan sesuai durasi [durasi]. Sertakan: latar belakang, pertanyaan investigatif, tujuan, konsep kimia, hipotesis, variabel, alat-bahan, K3, prosedur, tabel data, analisis data, penggunaan AI yang diperbolehkan, larangan penggunaan AI, rubrik, refleksi, dan batas kesimpulan. Hindari bahan berbahaya, prosedur tidak aman, dan klaim yang tidak dapat dibuktikan dari data.”

Template prompt validasi:

“Tinjau proyek praktikum kimia berbasis AI berikut. Evaluasi dari aspek keselamatan, alat-bahan, prosedur, variabel, data, analisis, konsep, penggunaan AI, etika, keterbatasan, rubrik, dan potensi miskonsepsi. Berikan revisi konkret dan nyatakan apakah proyek layak, layak dengan revisi, perlu virtual lab, atau tidak layak.”

Template ini membantu guru menggunakan AI secara lebih terarah.

6.10.20 Prinsip Akhir Proyek Praktikum Kimia Berbasis AI

Proyek praktikum kimia berbasis AI harus mengikuti prinsip akhir berikut. Pertama, proyek harus aman. Kedua, proyek harus berbasis pertanyaan investigatif. Ketiga, data harus berasal dari pengamatan nyata atau dinyatakan sebagai data simulatif. Keempat, AI harus digunakan secara transparan. Kelima, AI tidak boleh membuat data palsu. Keenam, analisis harus berbasis bukti. Ketujuh, kesimpulan harus dibatasi sesuai data. Kedelapan, guru harus memvalidasi prosedur dan keselamatan. Kesembilan, siswa harus dapat menjelaskan hasil dengan pemahaman sendiri. Kesepuluh, proyek harus mengembangkan literasi sains, literasi data, dan literasi AI secara seimbang.

Dengan demikian, proyek praktikum kimia berbasis AI dapat menjadi bentuk pembelajaran yang kaya, kontekstual, dan relevan dengan perkembangan teknologi. AI dapat membantu merancang, menganalisis, merefleksikan, dan mempresentasikan hasil praktikum. Namun, nilai utama proyek tetap terletak pada proses ilmiah: mengamati, mengukur, menganalisis, menyimpulkan, memvalidasi, dan bertanggung jawab terhadap keselamatan serta kejujuran data. Jika dirancang dengan baik, proyek praktikum berbasis AI dapat membentuk peserta didik yang tidak hanya memahami kimia, tetapi juga mampu menggunakan teknologi secara kritis, etis, dan ilmiah.

Simpulan Bab 6

Bab 6 telah membahas peran AI dalam praktikum kimia dan *virtual laboratory*. Pembahasan dimulai dari karakteristik praktikum kimia sebagai pembelajaran sains eksperimental, kemudian dilanjutkan dengan peran AI dalam merancang praktikum, menyusun prosedur eksperimen yang aman dan edukatif, mengembangkan simulasi laboratorium, menyusun LKPD berbasis inkuiri, menganalisis data praktikum, menginterpretasi tabel dan grafik, merancang alternatif alat-bahan sederhana, memperkuat keselamatan laboratorium, serta mengembangkan proyek praktikum kimia berbasis AI.

Kesimpulan utama bab ini adalah bahwa AI dapat memperkuat pembelajaran praktikum kimia, tetapi tidak boleh menggantikan hakikat praktikum sebagai proses ilmiah berbasis bukti. Praktikum kimia tetap harus melibatkan pengamatan, data, analisis, keselamatan, validasi, dan kesimpulan berbasis bukti. AI dapat membantu mempercepat penyusunan perangkat, memperkaya variasi kegiatan, membantu analisis data, memberi umpan balik, serta mendukung virtual laboratory. Namun, guru tetap menjadi pengarah utama, validator konsep, penanggung jawab keselamatan, dan penjaga integritas ilmiah.

Pada bagian karakteristik praktikum kimia, ditegaskan bahwa praktikum bukan sekadar aktivitas mengikuti prosedur. Praktikum merupakan sarana menghubungkan fenomena makroskopik, penjelasan submikroskopik, dan representasi simbolik. Praktikum juga mengembangkan keterampilan proses sains, sikap ilmiah, literasi data, kolaborasi, dan tanggung jawab keselamatan.

Pada bagian perancangan praktikum, AI diposisikan sebagai asisten desain. AI dapat membantu menyusun tujuan, pertanyaan investigatif, variabel, prosedur, tabel data, analisis, rubrik, dan alternatif praktikum. Namun, rancangan AI harus selalu diperiksa berdasarkan kondisi nyata laboratorium, kemampuan siswa, waktu pembelajaran, ketersediaan alat-bahan, dan standar keselamatan.

Pada bagian prosedur eksperimen, ditegaskan bahwa prosedur yang baik harus aman, edukatif, valid, realistis, dan sesuai jenjang. AI dapat membantu menulis prosedur yang jelas dan sistematis, tetapi guru harus memvalidasi bahan, konsentrasi, urutan langkah, risiko pemanasan, listrik, gas, limbah, serta potensi miskonsepsi.

Pada bagian simulasi laboratorium dan virtual laboratory, AI dapat memperkaya pembelajaran melalui panduan adaptif, umpan balik, simulasi variabel, visualisasi submikroskopik, serta analisis data simulasi. Namun, virtual laboratory memiliki keterbatasan karena tidak sepenuhnya melatih keterampilan manual, pengalaman sensorik, dan ketidakpastian data nyata. Penggunaan terbaik adalah integrasi seimbang antara praktikum nyata, simulasi, dan refleksi.

Pada bagian LKPD praktikum berbasis inkuiri, AI dapat membantu mengembangkan perangkat yang mendorong siswa merumuskan masalah, membuat prediksi, mengidentifikasi variabel, mengumpulkan data, menganalisis hasil, dan menyusun kesimpulan berbasis bukti. LKPD berbasis AI harus tetap divalidasi agar aman, konseptual, dan tidak berubah menjadi lembar kerja mekanis.

Pada bagian analisis data, AI dapat membantu merapikan tabel, menghitung rata-rata, membuat grafik, mengidentifikasi pola, membahas data menyimpang, dan membantu menulis klaim-bukti-penalaran. Namun, AI tidak boleh membuat atau mengubah data. Data harus berasal dari pengamatan nyata atau dinyatakan sebagai data simulatif.

Pada bagian interpretasi tabel, grafik, dan hasil eksperimen, AI dapat membantu siswa membaca pola, memilih grafik yang sesuai, memahami hubungan sebab-akibat, dan menilai kekuatan kesimpulan. Akan tetapi, interpretasi harus selalu merujuk pada data spesifik dan tidak boleh melampaui bukti yang tersedia.

Pada bagian alternatif alat dan bahan sederhana, AI dapat membantu guru merancang praktikum murah, lokal, mikroskala, dan kontekstual. Namun, keselamatan tetap menjadi prioritas. Bahan rumah tangga tidak otomatis aman, dan eksperimen berisiko lebih baik diganti dengan demonstrasi guru atau virtual laboratory.

Pada bagian keselamatan kerja laboratorium, ditegaskan bahwa AI tidak boleh menjadi satu-satunya rujukan keselamatan. SDS, standar institusi, kebijakan laboratorium, dan pertimbangan

guru-laboran tetap menjadi acuan utama. AI dapat membantu membuat lembar K3, kuis pra-lab, daftar risiko, dan alternatif aman, tetapi keputusan akhir tetap manusiawi dan profesional.

Pada bagian proyek praktikum kimia berbasis AI, ditunjukkan beberapa contoh proyek yang dapat mengintegrasikan praktikum nyata, virtual laboratory, analisis data, dan penggunaan AI secara etis. Proyek semacam ini dapat mengembangkan literasi sains, literasi data, literasi AI, dan keterampilan kolaboratif siswa.

Dengan demikian, AI dapat menjadi mitra penting dalam pembelajaran praktikum kimia jika digunakan secara kritis, aman, dan bertanggung jawab. AI mempercepat desain, memperluas akses, memperkaya simulasi, dan membantu analisis. Namun, hakikat praktikum tetap harus dijaga: data harus nyata, keselamatan harus utama, kesimpulan harus berbasis bukti, dan guru tetap menjadi validator ilmiah serta pedagogis.

Daftar Pustaka Bab 6

Abdulwahed, M., & Nagy, Z. K. (2009). Applying Kolb's experiential learning cycle for laboratory education. *Journal of Engineering Education, 98*(3), 283–294. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2009.tb01025.x

Achuthan, K., Kolil, V. K., & Diwakar, S. (2018). Using virtual laboratories in chemistry classrooms as interactive tools towards modifying alternate conceptions in molecular symmetry. *Education and Information Technologies, 23*, 2499–2515. https://doi.org/10.1007/s10639-018-9727-1

Aksela, M. (2005). Supporting meaningful chemistry learning and higher-order thinking through computer-assisted inquiry: A design research approach. *University of Helsinki*.

Bretz, S. L. (2019). Evidence for the importance of laboratory courses. *Journal of Chemical Education, 96*(2), 193–195. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00874

Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional virtual and remote versus traditional hands-on laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education, 87*, 218–237. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003

Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice, 8*(3), 293–307. https://doi.org/10.1039/B7RP90006F

Chiu, J. L., & Linn, M. C. (2014). Supporting knowledge integration in chemistry with a visualization-enhanced inquiry unit. *Journal of Science Education and Technology, 23*, 37–58. https://doi.org/10.1007/s10956-013-9449-5

De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science, 340*(6130), 305–308. https://doi.org/10.1126/science.1230579

Donnelly, D., O'Reilly, J., & McGarr, O. (2013). Enhancing the student experiment experience: Visible scientific inquiry through a virtual chemistry laboratory. *Research in Science Education, 43*, 1571–1592. https://doi.org/10.1007/s11165-012-9322-1

Gaddis, B. A., & Schoffstall, A. M. (2007). Incorporating guided-inquiry learning into the organic chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education, 84*(5), 848–851. https://doi.org/10.1021/ed084p848

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research, 52*(2), 201–217. https://doi.org/10.3102/00346543052002201

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education, 88*(1), 28–54. https://doi.org/10.1002/sce.10106

Hofstein, A., & Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: The state of the art. *Chemistry Education Research and Practice, 8*(2), 105–107. https://doi.org/10.1039/B7RP90003A

Johnstone, A. H., & Al-Shuaili, A. (2001). Learning in the laboratory: Some thoughts from the literature. *University Chemistry Education, 5*(2), 42–51.

Kirschner, P. A., & Meester, M. A. M. (1988). The laboratory in higher science education: Problems, premises and objectives. *Higher Education, 17*, 81–98. https://doi.org/10.1007/BF00130901

Lunetta, V. N., Hofstein, A., & Clough, M. P. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 393–441). Lawrence Erlbaum Associates.

Makransky, G., Thisgaard, M. W., & Gadegaard, H. (2016). Virtual simulations as preparation for lab exercises: Assessing learning of key laboratory skills in microbiology and improvement of essential non-cognitive skills. *PLOS ONE, 11*(6), e0155895. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155895

Ma, J., & Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys, 38*(3), 7. https://doi.org/10.1145/1132960.1132961

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2015). *Guide to implementing the Next Generation Science Standards*. National Academies Press. https://doi.org/10.17226/18802

National Research Council. (2006). *America's lab report: Investigations in high school science*. National Academies Press. https://doi.org/10.17226/11311

Reid, N., & Shah, I. (2007). The role of laboratory work in university chemistry. *Chemistry Education Research and Practice, 8*(2), 172–185. https://doi.org/10.1039/B5RP90026C

Singer, S. R., Hilton, M. L., & Schweingruber, H. A. (Eds.). (2006). *America's lab report: Investigations in high school science*. National Academies Press.

Smetana, L. K., & Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education, 34*(9), 1337–1370. https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182

Stone, D. C. (2014). Safety in academic chemistry laboratories. *Journal of Chemical Health and Safety, 21*(3), 3–4. https://doi.org/10.1016/j.jchas.2014.03.001

Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education, 33*(2), 179–195. https://doi.org/10.1080/09500690903386435

Tatli, Z., & Ayas, A. (2013). Effect of a virtual chemistry laboratory on students' achievement. *Educational Technology & Society, 16*(1), 159–170.

Towns, M. H. (2015). *Guide to developing high-quality, reliable, and valid multiple-choice assessments*. Journal of Chemical Education, 91–96.

Woodfield, B. F., Catlin, H. R., Waddoups, G. L., Moore, M. S., Swan, R., Allen, R., & Bodily, G. (2004). The virtual ChemLab project: A realistic and sophisticated simulation of inorganic qualitative analysis. *Journal of Chemical Education, 81*(11), 1672–1678. https://doi.org/10.1021/ed081p1672

GLOSARIUM

A

Adaptive Learning
Sistem pembelajaran adaptif yang menyesuaikan materi, tingkat kesulitan, umpan balik, atau jalur belajar berdasarkan kebutuhan, kemampuan, dan perkembangan peserta didik.

AI Berbasis Aturan
Jenis kecerdasan buatan yang bekerja dengan aturan eksplisit, misalnya pola "jika–maka". Dalam pembelajaran kimia, sistem ini dapat digunakan untuk memeriksa persamaan reaksi, simbol unsur, atau prosedur penyelesaian soal yang terstruktur.

Artificial Intelligence
Kecerdasan buatan; cabang ilmu komputer yang mengembangkan sistem agar mampu melakukan tugas yang biasanya membutuhkan kecerdasan manusia, seperti mengenali pola, membuat prediksi, menghasilkan teks, menganalisis data, dan memberi rekomendasi.

Analitik Pembelajaran
Pengumpulan, pengolahan, dan analisis data belajar untuk memahami perkembangan peserta didik, mendeteksi kesulitan belajar, serta membantu guru mengambil keputusan pedagogis berbasis data.

Asesmen Otomatis
Penilaian berbantuan AI yang dapat membantu memberikan skor, umpan balik, klasifikasi jawaban, atau diagnosis kesalahan belajar secara lebih cepat.

B

Bahan Ajar Berbasis AI
Materi pembelajaran yang dirancang, dikembangkan, atau disempurnakan dengan bantuan AI, tetapi tetap divalidasi oleh guru atau dosen agar akurat secara ilmiah dan sesuai tujuan pembelajaran.

Bias AI
Kecenderungan keluaran AI yang tidak netral akibat data pelatihan, desain algoritma, atau konteks penggunaan yang tidak seimbang. Dalam pendidikan, bias dapat memengaruhi keadilan asesmen dan rekomendasi pembelajaran.

Big Data
Kumpulan data berukuran sangat besar, beragam, dan kompleks yang dapat dianalisis untuk menemukan pola. Dalam pendidikan, big data dapat berasal dari aktivitas belajar digital, hasil kuis, respons siswa, atau interaksi dalam platform pembelajaran.

Black Box
Istilah untuk sistem AI yang proses internal pengambilan keputusannya sulit dijelaskan secara transparan. Hal ini menjadi tantangan dalam pendidikan karena guru perlu memahami dasar rekomendasi atau penilaian AI.

C

Chatbot Edukatif
Sistem percakapan berbasis AI yang dapat membantu peserta didik bertanya, meminta penjelasan ulang, memperoleh contoh soal, atau mendapatkan umpan balik belajar.

Computational Thinking
Cara berpikir komputasional yang mencakup pemecahan masalah melalui dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, dan penyusunan algoritma. Keterampilan ini penting dalam penggunaan AI dan kimia komputasi.

Content Generation
Proses pembuatan konten oleh AI, seperti teks bahan ajar, soal, rubrik, analogi, skenario diskusi, atau rancangan LKPD.

Contextual Prompt
Prompt yang menyertakan konteks pembelajaran, seperti jenjang peserta didik, tujuan pembelajaran, karakter kelas, model pembelajaran, batasan materi, dan format keluaran yang diinginkan.

D

Deep Learning
Cabang machine learning yang menggunakan jaringan saraf tiruan berlapis banyak untuk mempelajari pola kompleks. Dalam kimia, deep learning dapat digunakan untuk prediksi sifat molekul, analisis spektrum, dan pemodelan data kompleks.

Data Latih
Data yang digunakan untuk melatih model AI agar mampu mengenali pola, membuat prediksi, atau menghasilkan keluaran tertentu.

Diferensiasi Pembelajaran
Strategi pembelajaran yang menyesuaikan proses, konten, produk, atau dukungan belajar dengan kebutuhan peserta didik yang beragam.

Digital Learning
Pembelajaran yang menggunakan teknologi digital sebagai media, sumber, platform, atau alat bantu interaksi, asesmen, dan pengembangan materi.

E

Etika AI
Prinsip moral dalam penggunaan AI, meliputi transparansi, keadilan, perlindungan data, tanggung jawab manusia, integritas akademik, dan pencegahan penyalahgunaan teknologi.

Expert System
Sistem pakar; AI yang dirancang untuk meniru penalaran seorang pakar melalui basis pengetahuan dan aturan inferensi.

Evaluasi Prompt
Proses menilai kualitas prompt dan keluaran AI berdasarkan akurasi konsep, kesesuaian pedagogis, kejelasan struktur, keselamatan, etika, dan kebermanfaatan bagi pembelajaran.

Eksperimen Virtual
Simulasi eksperimen melalui lingkungan digital yang memungkinkan peserta didik mempelajari konsep, prosedur, dan analisis data tanpa selalu menggunakan laboratorium nyata.

F

Feedback Otomatis
Umpan balik yang diberikan sistem AI terhadap jawaban, aktivitas, atau kinerja peserta didik secara cepat dan terarah.

Format Output
Bentuk keluaran yang diminta dalam prompt, misalnya tabel, daftar langkah, LKPD, rubrik, naskah bahan ajar, peta konsep, atau skenario pembelajaran.

Formative Assessment
Asesmen formatif; penilaian yang dilakukan selama proses belajar untuk memantau pemahaman peserta didik dan memberikan perbaikan pembelajaran.

Fondasi AI
Dasar konseptual tentang cara kerja, jenis, sejarah, peluang, keterbatasan, dan implikasi AI dalam pendidikan.

G

Generative AI
Jenis AI yang mampu menghasilkan konten baru, seperti teks, gambar, kode, tabel, soal, rubrik, dan rancangan pembelajaran berdasarkan instruksi pengguna.

Guru sebagai Validator
Peran guru dalam memeriksa, mengoreksi, dan memastikan bahwa keluaran AI benar secara konsep, aman, etis, dan sesuai tujuan pembelajaran.

Geometri Molekul
Susunan atom dalam ruang tiga dimensi yang menentukan bentuk molekul. AI dapat membantu visualisasi geometri molekul, tetapi hasilnya tetap harus divalidasi.

Guided Prompting
Penyusunan prompt secara terbimbing dengan struktur yang jelas agar AI menghasilkan respons yang lebih akurat dan sesuai kebutuhan pembelajaran.

H

Halusinasi AI
Kondisi ketika AI menghasilkan jawaban yang terdengar meyakinkan tetapi salah, tidak berdasar, atau tidak valid secara ilmiah.

HOTS
Higher Order Thinking Skills; keterampilan berpikir tingkat tinggi yang mencakup analisis, evaluasi, kreasi, pemecahan masalah, dan argumentasi ilmiah.

Human-Centered AI
Pendekatan penggunaan AI yang tetap menempatkan manusia sebagai pusat pengambilan keputusan, pengendali nilai, dan penanggung jawab etis.

Hipotesis Pembelajaran
Dugaan awal tentang penyebab kesulitan atau miskonsepsi peserta didik yang dapat diuji melalui data belajar, asesmen, atau observasi.

I

Intelligent Tutoring System
Sistem tutor cerdas yang memberikan bimbingan belajar adaptif, petunjuk bertahap, latihan, dan umpan balik berdasarkan performa peserta didik.

Integritas Akademik
Prinsip kejujuran, tanggung jawab, dan orisinalitas dalam kegiatan akademik, termasuk dalam penggunaan AI untuk tugas, penulisan, asesmen, dan riset.

Instruksi Prompt
Perintah atau arahan yang diberikan kepada AI agar menghasilkan keluaran tertentu sesuai peran, tugas, konteks, batasan, dan format yang ditentukan.

Intervensi Pembelajaran
Tindakan guru untuk membantu peserta didik mengatasi kesulitan belajar, misalnya melalui remedial, pengayaan, umpan balik, diskusi ulang, atau scaffolding.

J

Jaringan Saraf Tiruan
Model komputasional yang terinspirasi dari cara kerja jaringan neuron dan digunakan dalam machine learning serta deep learning.

Jawaban Adaptif
Respons AI yang disesuaikan dengan kebutuhan, tingkat pemahaman, atau konteks pengguna.

Joyful Learning
Pembelajaran yang menyenangkan, bermakna, dan mendorong keterlibatan peserta didik secara positif.

Justifikasi Ilmiah
Alasan atau dasar ilmiah yang mendukung suatu pernyataan, keputusan, jawaban, atau desain pembelajaran.

K

Kecerdasan Buatan
Sistem komputasional berbasis data dan algoritma yang dapat membantu tugas manusia, termasuk dalam perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, dan pengembangan pembelajaran kimia.

Kimia Komputasi
Bidang kimia yang menggunakan metode komputasional untuk memodelkan struktur, energi, sifat, dan perilaku molekul.

Konteks Pembelajaran
Situasi yang memengaruhi desain pembelajaran, seperti jenjang pendidikan, karakter peserta didik, tujuan, materi, waktu, fasilitas, dan strategi pedagogis.

Kontrol Pedagogis
Pengawasan guru terhadap penggunaan AI agar tetap sesuai tujuan pembelajaran, valid secara ilmiah, aman, etis, dan tidak menggantikan proses berpikir peserta didik.

L

Large Language Model
Model bahasa besar yang dilatih pada data teks dalam jumlah besar sehingga mampu menghasilkan respons bahasa yang koheren.

Learning Analytics
Analitik pembelajaran; penggunaan data belajar untuk memahami pola, memantau kemajuan, mendeteksi kesulitan, dan memperbaiki proses pembelajaran.

Literasi AI
Kemampuan memahami konsep AI, cara kerja AI, manfaat, keterbatasan, risiko, etika, dan cara menggunakannya secara kritis serta bertanggung jawab.

LKPD Berbasis AI
Lembar Kerja Peserta Didik yang dirancang atau disempurnakan dengan bantuan AI, tetapi tetap harus disesuaikan dengan tujuan pembelajaran, karakter siswa, dan validitas konsep kimia.

M

Machine Learning
Cabang AI yang memungkinkan sistem belajar dari data untuk menemukan pola, membuat klasifikasi, prediksi, atau rekomendasi.

Makroskopik
Level representasi kimia yang berkaitan dengan fenomena yang dapat diamati langsung, seperti perubahan warna, pembentukan endapan, suhu, gas, atau perubahan wujud.

Meaningful Learning
Pembelajaran bermakna yang menghubungkan konsep baru dengan pengetahuan awal peserta didik secara substantif dan terstruktur.

Miskonsepsi
Pemahaman keliru yang dimiliki peserta didik terhadap suatu konsep. Dalam kimia, miskonsepsi sering muncul pada konsep atom, ikatan, mol, kesetimbangan, asam-basa, dan elektrokimia.

N

Natural Language Processing
Pemrosesan bahasa alami; bidang AI yang memungkinkan komputer memahami, mengolah, dan menghasilkan bahasa manusia.

Neural Network
Jaringan saraf tiruan yang digunakan untuk mengenali pola dalam data dan menjadi fondasi penting deep learning.

Numerasi Kimia
Kemampuan menggunakan konsep angka, satuan, perbandingan, persamaan, dan perhitungan dalam menyelesaikan persoalan kimia.

Nilai Etis
Prinsip moral yang menjadi dasar penggunaan AI secara bertanggung jawab, seperti kejujuran, keadilan, transparansi, keamanan, dan perlindungan peserta didik.

O

Output AI
Keluaran yang dihasilkan AI berdasarkan prompt atau data masukan, misalnya teks, tabel, gambar, soal, rubrik, ringkasan, atau rancangan pembelajaran.

Otomatisasi Pembelajaran
Penggunaan teknologi untuk mempercepat atau membantu proses pembelajaran tertentu, seperti pemberian umpan balik, pengelompokan data, atau penyusunan variasi soal.

Objektivitas Asesmen
Upaya memastikan penilaian dilakukan secara adil, konsisten, dan berdasarkan kriteria yang jelas.

Orkestrasi Pembelajaran
Kemampuan guru mengatur interaksi antara tujuan, materi, peserta didik, teknologi, asesmen, dan refleksi agar pembelajaran berjalan efektif.

P

Pembelajaran Adaptif
Pembelajaran yang menyesuaikan materi, strategi, dan dukungan belajar berdasarkan data kebutuhan peserta didik.

Prompt
Instruksi yang diberikan kepada AI untuk menghasilkan respons tertentu. Prompt yang baik harus jelas, kontekstual, bertahap, berbasis tujuan, dan memiliki batasan yang eksplisit.

Prompt Engineering
Keterampilan merancang, menguji, mengevaluasi, dan memperbaiki prompt agar AI menghasilkan keluaran yang relevan, akurat, dan bermanfaat secara pedagogis.

Praktikum Virtual
Kegiatan eksperimen berbasis simulasi digital yang memungkinkan peserta didik mempelajari konsep dan prosedur laboratorium melalui lingkungan virtual.

Q

Quality Control
Pengendalian kualitas terhadap keluaran AI, mencakup pemeriksaan akurasi konsep, kesesuaian jenjang, keamanan praktikum, format, bahasa, dan relevansi pembelajaran.

Question Generation
Pembuatan soal secara otomatis atau berbantuan AI, baik berupa soal pilihan ganda, uraian, HOTS, diagnostik, maupun reflektif.

Question Prompt
Prompt yang dirancang untuk menghasilkan pertanyaan, latihan, atau instrumen asesmen sesuai tujuan pembelajaran.

R

Representasi Kimia
Cara menyajikan fenomena kimia melalui level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik.

Representasi Simbolik
Level representasi kimia berupa simbol, rumus, persamaan reaksi, notasi, diagram, grafik, dan perhitungan.

Rubrik Penilaian
Panduan penilaian yang berisi kriteria dan indikator performa untuk menilai tugas, proyek, praktikum, atau produk belajar peserta didik.

Rule-Based AI
AI berbasis aturan yang bekerja berdasarkan instruksi eksplisit. Cocok untuk tugas dengan prosedur jelas dan kriteria benar-salah yang tegas.

S

Scaffolding Digital
Dukungan belajar bertahap berbasis teknologi yang membantu peserta didik memahami konsep atau menyelesaikan tugas secara sistematis.

Simulasi Kimia
Pemodelan digital terhadap fenomena kimia, seperti reaksi, kesetimbangan, gerak partikel, perubahan energi, atau struktur molekul.

Submikroskopik
Level representasi kimia yang menjelaskan fenomena pada tingkat partikel, seperti atom, ion, molekul, elektron, dan interaksi antarmolekul.

Symbolic AI
Pendekatan AI yang memanipulasi simbol dan aturan logis. Dalam kimia, pendekatan ini relevan karena kimia banyak menggunakan simbol, rumus, dan persamaan.

T

Tiga Level Representasi Kimia
Kerangka penting dalam pembelajaran kimia yang terdiri atas level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik.

Tutor Cerdas
Sistem AI yang membimbing peserta didik melalui latihan, petunjuk, umpan balik, dan penyesuaian tingkat kesulitan.

Transparansi AI
Keterbukaan mengenai cara AI digunakan, batasannya, sumber data, serta peran manusia dalam memvalidasi keluaran.

Tujuan Pembelajaran
Rumusan kompetensi atau hasil belajar yang ingin dicapai peserta didik setelah mengikuti proses pembelajaran.

U

Umpan Balik Formatif
Informasi yang diberikan selama proses belajar untuk membantu peserta didik memperbaiki pemahaman, strategi, atau hasil kerja.

User Input
Masukan dari pengguna kepada sistem AI, dapat berupa pertanyaan, instruksi, data, teks, gambar, atau perintah khusus.

Utilitas AI
Nilai guna AI dalam membantu pekerjaan pendidikan, seperti merancang bahan ajar, membuat soal, memberi umpan balik, dan menganalisis data belajar.

Uji Validitas Konsep
Proses memeriksa apakah isi, penjelasan, rumus, atau prosedur yang dihasilkan AI sesuai dengan konsep ilmiah yang benar.

V

Validasi Ilmiah
Pemeriksaan kebenaran keluaran AI berdasarkan teori, data, eksperimen, literatur, dan prinsip ilmiah yang sahih.

Virtual Laboratory
Laboratorium virtual yang memungkinkan simulasi eksperimen kimia secara digital, terutama ketika alat, bahan, waktu, atau keamanan menjadi kendala.

Visualisasi Molekul
Representasi visual struktur dan bentuk molekul untuk membantu memahami konsep kimia yang abstrak.

Verifikasi Output
Pemeriksaan ulang terhadap hasil AI sebelum digunakan dalam pembelajaran, publikasi, asesmen, atau praktikum.

W

Workflow Pembelajaran Berbasis AI
Alur kerja sistematis dalam menggunakan AI, mulai dari menentukan tujuan, menyusun prompt, membaca output, memvalidasi, merevisi, dan menerapkan hasil dalam pembelajaran.

Web-Based Learning
Pembelajaran berbasis web yang menggunakan platform daring sebagai media penyampaian materi, interaksi, latihan, atau asesmen.

Writing Assistant
AI yang membantu penulisan bahan ajar, ringkasan, modul, soal, rubrik, atau refleksi pembelajaran.

Well-Structured Prompt
Prompt yang disusun dengan komponen jelas: peran, tugas, konteks, batasan, format keluaran, dan kriteria kualitas.

X

XAI
Explainable Artificial Intelligence; pendekatan AI yang berupaya membuat proses, alasan, atau dasar keputusan AI lebih dapat dijelaskan dan dipahami manusia.

XML/Structured Data
Format data terstruktur yang dapat digunakan dalam sistem digital untuk menyimpan, mengelola, atau menukar informasi pembelajaran.

X-Factor Pedagogis
Faktor khas manusia dalam pembelajaran yang sulit digantikan AI, seperti empati, intuisi pedagogis, kepekaan konteks, nilai moral, dan interaksi emosional.

Y

Yield Pembelajaran
Hasil atau capaian yang diperoleh dari proses pembelajaran, baik berupa pemahaman konsep, keterampilan proses sains, sikap ilmiah, maupun kemampuan berpikir kritis.

Yes/No Diagnostic Prompt
Prompt diagnostik sederhana yang meminta AI membantu mengidentifikasi benar-salah suatu pemahaman awal, tetapi tetap harus diikuti penjelasan dan validasi guru.

Yurisdiksi Etika Pendidikan
Ruang tanggung jawab moral dan kebijakan dalam penggunaan AI di lembaga pendidikan, termasuk privasi data, integritas akademik, dan perlindungan peserta didik.

Z

Zona Perkembangan Proksimal
Konsep pembelajaran yang menjelaskan jarak antara kemampuan aktual peserta didik dan kemampuan potensial yang dapat dicapai dengan bantuan. Dalam konteks AI, bantuan digital dapat berfungsi sebagai scaffolding jika digunakan secara tepat.

Zero-Shot Prompting
Teknik memberi instruksi kepada AI tanpa contoh sebelumnya. AI diminta langsung menghasilkan jawaban berdasarkan prompt yang diberikan.

Zettabyte Data
Istilah ukuran data sangat besar yang menggambarkan skala data digital modern. Perkembangan AI sangat dipengaruhi oleh ketersediaan data dalam jumlah besar.

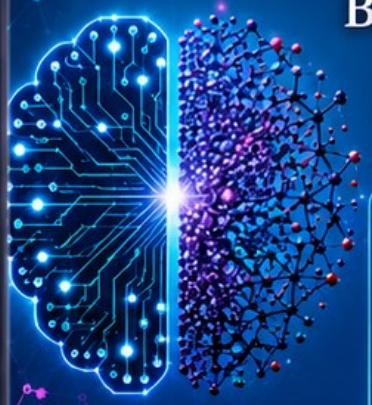
Zona Aman AI
Batas penggunaan AI yang tetap menjaga akurasi, etika, keselamatan, privasi, integritas akademik, dan kendali manusia dalam pembelajaran.

KAS
MUI

Digitally signed by KASMUI
DN: cn=KASMUI gn=KASMUI c=Indonesia l=ID o=Muhammadiyah ou=PCM Gunungpati 2 e=kasmui@mail.unnes.ac.id
Reason: I am the author of this document
Location:
Date: 2026-06-13 05:44+07:00

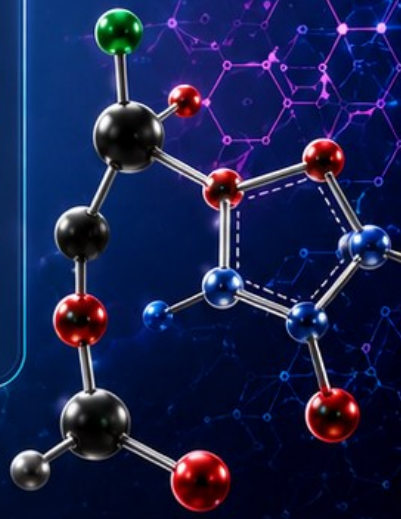
KECERDASAN BUATAN UNTUK PEMBELAJARAN KIMIA

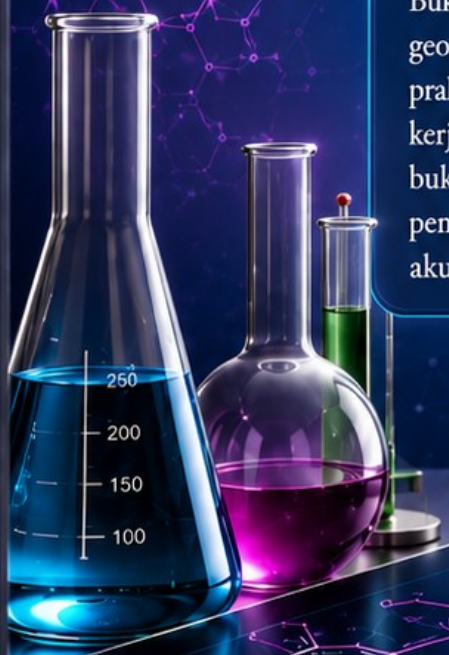
Bagian 1 Fondasi AI dan Perancangan Konten Pembelajaran Kimia



SINOPSIS

Buku ini membahas fondasi kecerdasan buatan dalam pembelajaran kimia secara komprehensif, mulai dari konsep dasar AI, machine learning, deep learning, generative AI, dan chatbot edukatif, hingga karakter abstrak ilmu kimia, tiga level representasi, serta tantangan belajar kimia. Pembahasan dilanjutkan dengan prompt engineering, pengembangan bahan ajar, modul, LKPD, infografik, dan media visual berbantuan AI. Buku ini juga menyoroti visualisasi struktur atom, ikatan kimia, geometri molekul, mekanisme reaksi, serta perancangan praktikum, laboratorium virtual, analisis data, dan keselamatan kerja. Disajikan dengan perspektif pedagogis, kritis, dan etis, buku ini membantu guru, calon guru, mahasiswa, dan pemerhati pendidikan kimia memanfaatkan AI secara kreatif, akurat, dan bertanggung jawab.





KASMUI