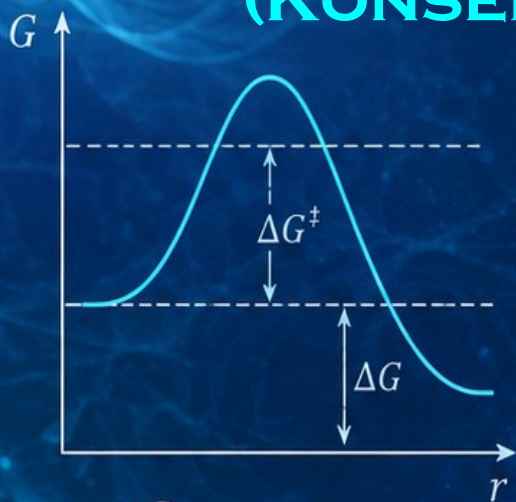


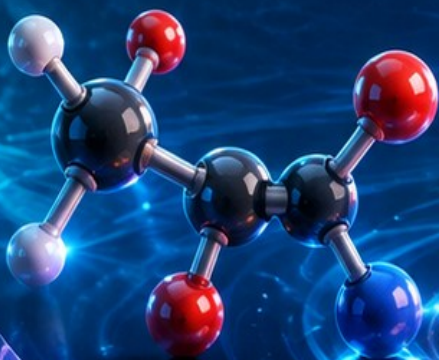
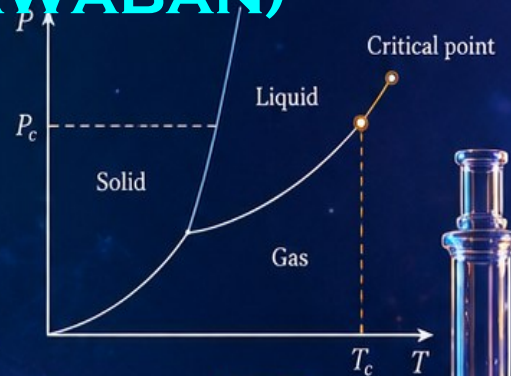
KIMIA FISIKA 1

(KONSEP, SOAL & JAWABAN)



$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$PV = nRT$$



KASMUI

KIMIA FISIKA 1

*Konsep Dasar, Gas, Fase Terkondensasi, dan
Termodinamika*

KASMUI

Disusun dengan merujuk konseptual dokumen Physical Chemistry (Castellan)
dengan standar format buku profesional

CATATAN PENYUSUNAN

Buku ini merupakan penyusunan ulang orisinal dalam bahasa Indonesia yang mengikuti cakupan konsep dan pola penyajian akademik dari dokumen sumber yang diberikan pengguna. Uraian, contoh, gambar, tabel, latihan, dan pembahasan ditulis kembali secara mandiri untuk tujuan pembelajaran; buku ini bukan reproduksi atau terjemahan verbatim dari teks sumber.

Struktur materi difokuskan pada bagian yang benar-benar tersedia dalam berkas sumber, yaitu konsep dasar kimia, sifat gas, gas riil, teori kinetik, fase cair dan padat, serta termodinamika sampai entropi dan hukum ketiga. Persamaan ilmiah ditulis sebagai notasi matematika standar dan semua ilustrasi dalam buku ini dibuat ulang sebagai diagram konseptual atau grafik baru.

Format halaman menggunakan ukuran A4, margin kiri 4 cm serta margin atas, kanan, dan bawah 3 cm; paragraf utama Times New Roman 12 pt, rata kiri-kanan, spasi 1,15, tanpa indentasi awal. Bab baru dimulai pada halaman baru, sementara subbab mengalir kontinu tanpa pemisah halaman manual.

KATA PENGANTAR

Kimia fisika menempati posisi penting karena mempertemukan bahasa kimia dengan prinsip-prinsip fisika dan matematika. Besaran seperti tekanan, temperatur, energi, entalpi, dan entropi bukan sekadar simbol dalam persamaan; semuanya merupakan cara kuantitatif untuk menjelaskan mengapa suatu sistem memiliki keadaan tertentu, bagaimana keadaan itu berubah, dan apa batas yang harus dipenuhi oleh perubahan tersebut. Buku ini disusun untuk membantu mahasiswa membangun cara berpikir tersebut secara bertahap dan konsisten.

Bagian awal buku mengingatkan kembali konsep-konsep dasar yang sering dianggap sederhana tetapi justru menentukan ketelitian analisis: klasifikasi materi, massa molar, jumlah zat, stoikiometri, serta Sistem Internasional. Selanjutnya pembahasan bergerak menuju hukum-hukum empiris gas, persamaan gas ideal, campuran gas, dan distribusi barometrik. Pada tahap ini mahasiswa dilatih untuk membaca persamaan sebagai hubungan antarvariabel keadaan dan selalu menyebutkan kondisi yang dipertahankan tetap.

Setelah model gas ideal dikuasai, buku beralih ke gas riil dan teori kinetik molekular. Penyimpangan dari idealitas dijelaskan melalui faktor kompresibilitas, persamaan van der Waals, keadaan kritis, dan prinsip keadaan bersesuaian. Teori kinetik kemudian memperlihatkan bagaimana tekanan dan temperatur dapat dihubungkan dengan gerak molekul, distribusi kecepatan Maxwell, energi translasi, ekipartisi, dan efek kuantisasi terhadap kapasitas kalor.

Pembahasan fase cair dan padat memberi konteks bagi gaya antarmolekul, perubahan fase, tekanan uap, pemuaian, kompresibilitas, serta perbedaan struktur antar fase. Kerangka ini menjadi landasan untuk memasuki termodinamika: hukum ke-nol, hukum pertama, kerja dan kalor, energi dalam, entalpi, kapasitas kalor, proses adiabatik, termokimia, hukum Hess, entalpi ikatan, dan kalorimetri.

Dua bab terakhir menempatkan hukum kedua, entropi, dan hukum ketiga dalam satu alur konseptual. Mesin Carnot digunakan untuk menunjukkan batas efisiensi yang tidak dapat dilampaui oleh mesin nyata. Entropi kemudian diperkenalkan sebagai fungsi keadaan dan diperluas melalui hubungan diferensial, perubahan pada gas ideal, entropi reaksi, interpretasi statistik $S = k \ln \Omega$, serta entropi pencampuran. Dengan pendekatan ini mahasiswa diharapkan memahami bahwa termodinamika merupakan disiplin tentang kendala dan kemungkinan, bukan hanya kumpulan rumus.

Setiap bab dilengkapi tujuan pembelajaran, tabel ringkas, gambar atau grafik yang dibuat ulang, contoh analisis, rangkuman, dua puluh soal latihan, jawaban dan pembahasan langkah demi langkah, serta soal pengembangan. Bagian latihan sengaja memadukan pertanyaan konseptual, interpretasi persamaan, analisis

eksperimen, dan perhitungan numerik agar kemampuan yang berkembang tidak berhenti pada hafalan.

Penyusunan buku ini mengikuti standar format dokumen profesional sebagaimana diberikan dalam prompt master pengguna. Rumus ditulis sebagai notasi matematika yang terbaca dalam dokumen, bukan sebagai kode LaTeX mentah. Daftar isi menggunakan struktur Heading 1 sampai Heading 3 agar dapat diperbarui di Microsoft Word melalui Ctrl+A kemudian F9. Glosarium disusun alfabetis; huruf abjadnya tidak menggunakan style heading agar tidak masuk ke daftar isi.

Buku ini diharapkan menjadi bahan belajar yang dapat dibaca secara mandiri maupun digunakan dalam perkuliahan. Pembaca dianjurkan tidak hanya mengikuti contoh hitungan, tetapi juga melakukan pemeriksaan satuan, menilai asumsi, membuat sketsa grafik, dan membandingkan prediksi model dengan perilaku sistem nyata. Kritik dan koreksi ilmiah selalu penting karena kualitas buku ajar ditentukan oleh ketepatan konsep sekaligus kemudahan pembaca membangun pemahaman yang dapat dipertanggungjawabkan.

Semarang, Agustus 2026

Penyusun,

Kasmui

PETUNJUK PENGGUNAAN BUKU

Gunakan urutan bab sebagai jalur belajar utama. Konsep pada bab gas dan teori kinetik menjadi prasyarat penting untuk memahami makna kerja, kalor, energi, dan entropi. Apabila suatu rumus digunakan, tuliskan terlebih dahulu sistem, kondisi proses, variabel yang diketahui, serta satuannya.

Setiap persamaan perlu dibaca secara fisis. Misalnya, $pV=nRT$ tidak hanya dipakai untuk mencari satu variabel yang hilang, tetapi juga menunjukkan bagaimana tekanan berubah terhadap volume pada T dan n tetap. Kebiasaan menyebutkan kendala proses akan mencegah penggunaan persamaan pada kondisi yang tidak sesuai.

Pada bagian latihan, kerjakan pertanyaan terlebih dahulu tanpa melihat pembahasan. Setelah itu bandingkan langkah penyelesaian, bukan hanya jawaban akhir. Pada soal numerik, pemeriksaan satuan, orde besaran, dan tanda merupakan bagian dari jawaban yang benar. Soal pengembangan dapat digunakan untuk diskusi, proyek kecil, atau tugas literatur.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	4
PETUNJUK PENGGUNAAN BUKU	6
BAB 1. KONSEP DASAR KIMIA UNTUK KIMIA FISIKA	16
1.0 TUJUAN PEMBELAJARAN	16
1.1 PENDAHULUAN	17
1.2 KLASIFIKASI MATERI	18
1.3 UNSUR, SENYAWA, DAN SPESIES KIMIA	19
1.3.A CONTOH ANALISIS	20
1.4 MASSA ATOM RELATIF DAN MASSA MOLAR	20
1.5 SIMBOL, RUMUS, DAN KOMPOSISI	22
1.6 MOL DAN JUMLAH PARTIKEL	23
1.6.A CONTOH ANALISIS	24
1.7 PERSAMAAN REAKSI KIMIA	25
1.8 SISTEM INTERNASIONAL DAN ANALISIS DIMENSI	26
1.A STUDI KASUS TERPADU	27
CONTOH SOAL TERBIMBING	28
1.B RANGKUMAN	36
LATIHAN BAB	36
JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB	38
SOAL PENGEMBANGAN	43
BAB 2. SIFAT EMPIRIS GAS	45
2.0 TUJUAN PEMBELAJARAN	45
2.1 HUKUM BOYLE DAN HUKUM CHARLES	46
2.2 HUKUM AVOGADRO DAN PERSAMAAN GAS IDEAL	47
2.3 PERSAMAAN KEADAAN SERTA SIFAT EKSTENSIF DAN INTENSIF	48
2.3.A CONTOH ANALISIS	50
2.4 REPRESENTASI KEADAAN GAS IDEAL	50

2.5 PENENTUAN MASSA MOLAR GAS DAN ZAT VOLATIL	51
2.6 CAMPURAN GAS DAN VARIABEL KOMPOSISI	53
2.6.A CONTOH ANALISIS	54
2.7 PERSAMAAN KEADAAN CAMPURAN DAN HUKUM DALTON	54
2.8 TEKANAN PARSIAL	56
2.9 DISTRIBUSI BAROMETRIK	57
2.9.A CONTOH ANALISIS	58
2.A STUDI KASUS TERPADU	59
CONTOH SOAL TERBIMBING	59
2.B RANGKUMAN	67
LATIHAN BAB	68
JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB	69
SOAL PENGEMBANGAN	74
BAB 3. GAS RIIL DAN PERSAMAAN KEADAAN	76
3.0 TUJUAN PEMBELAJARAN	76
3.1 PENYIMPANGAN DARI PERILAKU IDEAL	77
3.2 PERSAMAAN VAN DER WAALS	78
3.3 MAKNA FISIKA PARAMETER VAN DER WAALS	79
3.3.A CONTOH ANALISIS	80
3.4 ISOTERM GAS RIIL	81
3.5 KONTINUITAS KEADAAN	82
3.6 ISOTERM PERSAMAAN VAN DER WAALS	83
3.6.A CONTOH ANALISIS	84
3.7 KEADAAN KRITIS	85
3.8 KEADAAN BERSESUAIAN	86
3.9 PERSAMAAN KEADAAN LAIN	87
3.9.A CONTOH ANALISIS	89
3.A STUDI KASUS TERPADU	89
CONTOH SOAL TERBIMBING	90

3.B RANGKUMAN.....	98
LATIHAN BAB	98
JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB	100
SOAL PENGEMBANGAN	105
BAB 4. STRUKTUR MIKROSKOPIK GAS.....	107
4.0 TUJUAN PEMBELAJARAN.....	107
4.1 PENDAHULUAN TEORI MOLEKULAR GAS	108
4.2 ASUMSI DASAR TEORI KINETIK	109
4.3 PERHITUNGAN TEKANAN DARI GERAK MOLEKUL	110
4.3.A CONTOH ANALISIS	111
4.4 HUKUM DALTON DARI SUDUT KINETIK	112
4.5 DISTRIBUSI DAN FUNGSI DISTRIBUSI.....	113
4.6 DISTRIBUSI KECEPATAN MAXWELL.....	114
4.6.A CONTOH ANALISIS	115
4.7 SELINGAN MATEMATIKA UNTUK INTEGRAL GAUSSIAN	116
4.8 NORMALISASI DAN KONSTANTA DISTRIBUSI.....	117
4.9 NILAI RATA-RATA DARI DISTRIBUSI MAXWELL.....	118
4.9.A CONTOH ANALISIS	120
4.10 DISTRIBUSI ENERGI TRANSLASI	120
4.11 EKIPARTISI ENERGI.....	121
4.12 EKIPARTISI DAN KUANTISASI.....	123
4.12.A CONTOH ANALISIS	124
4.13 KAPASITAS KALOR VIBRASI	124
4.14 HUKUM DISTRIBUSI MAXWELL-BOLTZMANN	125
4.15 VERIFIKASI EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI KECEPATAN	127
4.15.A CONTOH ANALISIS	128
4.A STUDI KASUS TERPADU.....	129
CONTOH SOAL TERBIMBING	129
4.B RANGKUMAN	137

LATIHAN BAB	138
JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB	139
SOAL PENGEMBANGAN	144
BAB 5. SIFAT FASE CAIR DAN PADAT	146
5.0 TUJUAN PEMBELAJARAN	146
5.1 FASE TERKONDENSASI	147
5.2 PEMUAIAN TERMAL DAN KOMPRESIBILITAS	148
5.3 ENTALPI PELEBURAN, PENGUAPAN, DAN SUBLIMASI	149
5.3.A CONTOH ANALISIS	150
5.4 TEKANAN UAP	151
5.5 SIFAT KHAS CAIRAN	152
5.6 PERBANDINGAN STRUKTUR PADAT, CAIR, DAN GAS	153
5.6.A CONTOH ANALISIS	154
5.A STUDI KASUS TERPADU	155
CONTOH SOAL TERBIMBING	156
5.B RANGKUMAN	164
LATIHAN BAB	164
JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB	165
SOAL PENGEMBANGAN	171
BAB 6. HUKUM-HUKUM TERMODINAMIKA: GAMBARAN UMUM DAN HUKUM KE-NOL	173
6.0 TUJUAN PEMBELAJARAN	173
6.1 BENTUK ENERGI DAN GAMBARAN HUKUM PERTAMA	174
6.2 BATAS KONVERSI ANTAR BENTUK ENERGI	175
6.3 GAMBARAN HUKUM KEDUA	176
6.3.A CONTOH ANALISIS	177
6.4 HUKUM KE-NOL TERMODINAMIKA	178
6.5 TERMOMETRI DAN SKALA TEMPERATUR	179
6.A STUDI KASUS TERPADU	181
CONTOH SOAL TERBIMBING	181

6.B RANGKUMAN.....	189
LATIHAN BAB	190
JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB	191
SOAL PENGEMBANGAN	196
BAB 7. ENERGI, HUKUM PERTAMA, DAN TERMOKIMIA.....	198
7.0 TUJUAN PEMBELAJARAN.....	198
7.1 ISTILAH DASAR TERMODINAMIKA	199
7.2 KALOR DAN KERJA	200
7.3 KERJA EKSPANSI	201
7.3.A CONTOH ANALISIS	202
7.4 KERJA KOMPRESI	203
7.5 KERJA MAKSIMUM DAN MINIMUM.....	204
7.6 PROSES REVERSIBEL DAN IREVERSIBEL.....	205
7.6.A CONTOH ANALISIS	206
7.7 ENERGI DALAM DAN HUKUM PERTAMA.....	206
7.8 SIFAT ENERGI DALAM.....	208
7.9 DIFERENSIAL EKSAK DAN TAK EKSAK.....	209
7.9.A CONTOH ANALISIS	210
7.10 PERUBAHAN ENERGI TERHADAP VARIABEL KEADAAN....	211
7.11 PERUBAHAN KEADAAN PADA VOLUME KONSTAN.....	212
7.12 PERCOBAAN JOULE.....	213
7.12.A CONTOH ANALISIS	214
7.13 PERUBAHAN KEADAAN PADA TEKanan KONSTAN	215
7.14 HUBUNGAN KAPASITAS KALOR CP DAN CV	216
7.15 EFEK JOULE-THOMSON.....	217
7.15.A CONTOH ANALISIS	219
7.16 PERUBAHAN ADIABATIK	219
7.17 STRATEGI PEMECAHAN SOAL TERMODINAMIKA.....	220
7.18 PANAS REAKSI DAN HUKUM PERTAMA.....	221

7.18.A CONTOH ANALISIS	223
7.19 REAKSI PEMBENTUKAN	223
7.20 KONVENSI ENTALPI MOLAR STANDAR.....	224
7.21 PENENTUAN ENTALPI PEMBENTUKAN	225
7.21.A CONTOH ANALISIS	227
7.22 HUKUM HESS	227
7.23 ENTALPI PELARUTAN DAN PENGECERAN.....	228
7.24 KALOR REAKSI PADA VOLUME KONSTAN.....	229
7.24.A CONTOH ANALISIS	231
7.25 KETERGANTUNGAN ENTALPI REAKSI PADA TEMPERATUR.....	231
7.26 ENTALPI IKATAN	232
7.27 PENGUKURAN KALORIMETRI.....	234
7.27.A CONTOH ANALISIS	235
7.A STUDI KASUS TERPADU	236
CONTOH SOAL TERBIMBING	236
7.B RANGKUMAN	244
LATIHAN BAB	246
JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB	247
SOAL PENGEMBANGAN	252
BAB 8. HUKUM KEDUA TERMODINAMIKA.....	254
8.0 TUJUAN PEMBELAJARAN.....	254
8.1 ARAH PROSES ALAMI.....	255
8.2 SIKLUS CARNOT.....	256
8.3 PERNYATAAN HUKUM KEDUA.....	257
8.3.A CONTOH ANALISIS	258
8.4 KARAKTERISTIK SIKLUS REVERSIBEL.....	258
8.5 MESIN GERAK ABADI JENIS KEDUA.....	259
8.6 EFISIENSI MESIN KALOR	261
8.6.A CONTOH ANALISIS	262

8.7 MESIN HIPOTETIK YANG TIDAK MUNGKIN	262
8.8 SKALA TEMPERATUR TERMODINAMIK	263
8.9 TINJAUAN KONSEPTUAL	265
8.9.A CONTOH ANALISIS	266
8.10 SIKLUS CARNOT DENGAN GAS IDEAL.....	266
8.11 MESIN PENDINGIN CARNOT	267
8.12 POMPA KALOR	269
8.12.A CONTOH ANALISIS	270
8.13 DEFINISI ENTROPI	270
8.14 PEMBUKTIAN UMUM KONSEP ENTROPI	272
8.15 KETAKSAMAAN CLAUSIUS.....	273
8.15.A CONTOH ANALISIS	274
8.16 KESIMPULAN HUKUM KEDUA	275
8.A STUDI KASUS TERPADU.....	276
CONTOH SOAL TERBIMBING	276
8.B RANGKUMAN.....	284
LATIHAN BAB	285
JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB	287
SOAL PENGEMBANGAN	292
BAB 9. ENTROPI DAN HUKUM KETIGA TERMODINAMIKA	294
9.0 TUJUAN PEMBELAJARAN.....	294
9.1 SIFAT-SIFAT ENTROPI.....	295
9.2 KESTABILAN TERMAL DAN MEKANIK.....	296
9.3 PERUBAHAN ENTROPI PADA PROSES ISOTERMAL	297
9.3.A CONTOH ANALISIS	298
9.4 DIFERENSIAL EKSAK DAN ATURAN SIKLIK	299
9.5 ENTROPI SEBAGAI FUNGSI VARIABEL KEADAAN	300
9.6 ENTROPI SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR DAN VOLUME	301
9.6.A CONTOH ANALISIS	302

9.7 ENTROPI SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR DAN TEKANAN..	303
9.8 KETERGANTUNGAN ENTROPI PADA TEMPERATUR	304
9.9 PERUBAHAN ENTROPI GAS IDEAL.....	305
9.9.A CONTOH ANALISIS	307
9.10 HUKUM KETIGA TERMODINAMIKA	307
9.11 ENTROPI REAKSI KIMIA.....	308
9.12 ENTROPI DAN PROBABILITAS.....	310
9.12.A CONTOH ANALISIS	311
9.13 BENTUK UMUM JUMLAH MIKROSTATE Ω	311
9.14 DISTRIBUSI ENERGI	313
9.15 ENTROPI PENCAMPURAN DAN PENGECUALIAN HUKUM KETIGA	314
9.15.A CONTOH ANALISIS	315
9.A STUDI KASUS TERPADU.....	316
CONTOH SOAL TERBIMBING	317
9.B RANGKUMAN.....	325
LATIHAN BAB	326
JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB	327
SOAL PENGEMBANGAN	332
LAMPIRAN A. MATEMATIKA PENTING UNTUK KIMIA FISIKA.....	334
A.1 TURUNAN DAN MAKNA LAJU PERUBAHAN.....	334
A.2 INTEGRAL DAN AKUMULASI	335
A.3 LOGARITMA DAN EKSPONENSIAL.....	335
A.4 DERET TAYLOR DAN PENDEKATAN	336
A.5 FUNGSI BEBERAPA VARIABEL DAN DIFERENSIAL TOTAL	337
A.6 REGRESI LINEAR DAN KUADRAT TERKECIL	338
A.7 VEKTOR DAN MATRIKS DASAR.....	338
LAMPIRAN B. DASAR ELEKTROSTATIS	340
B.1 HUKUM COULOMB	340
B.2 MEDAN LISTRIK	340

B.3 POTENSIAL LISTRIK	341
B.4 FLUKS LISTRIK	342
B.5 PERSAMAAN POISSON	343
LAMPIRAN C. SISTEM INTERNASIONAL DAN ANALISIS DIMENSI	344
C.1 BESARAN DASAR SI.....	344
C.2 SATUAN TURUNAN.....	344
C.3 AWALAN SI.....	345
C.4 ANALISIS DIMENSI	346
LAMPIRAN D. KONSTANTA DAN HUBUNGAN SERING DIGUNAKAN	348
D.1 KONSTANTA GAS DAN AVOGADRO	348
D.2 KONSTANTA BOLTZMANN.....	349
D.3 TEKANAN STANDAR DAN KONVERSI	349
D.4 HUBUNGAN GAS IDEAL PENTING	350
LAMPIRAN E. ANALISIS DATA DAN KETIDAKPASTIAN.....	352
E.1 PENCATATAN DATA MENTAH.....	352
E.2 ANGKA PENTING DAN PEMBULATAN	352
E.3 KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN TUNGGAL	353
E.4 PROPAGASI KETIDAKPASTIAN.....	354
E.5 GRAFIK, REGRESI, DAN RESIDU	355
E.6 PELAPORAN HASIL YANG DAPAT DIREPRODUKSI.....	356
GLOSARIUM.....	357
DAFTAR PUSTAKA	362

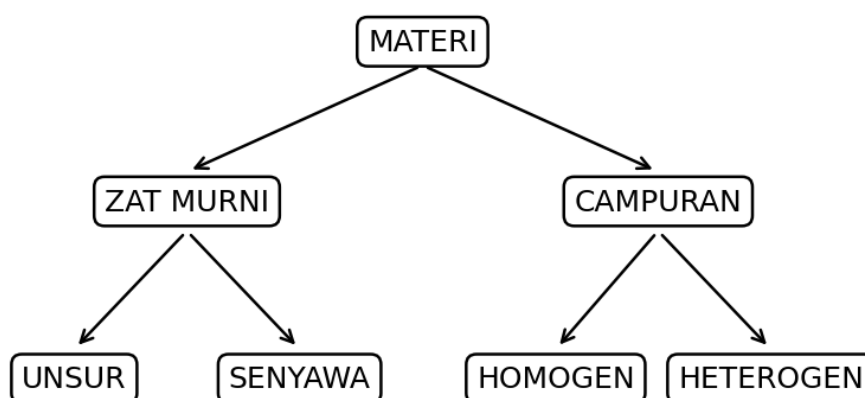
1

BAB 1. KONSEP DASAR KIMIA UNTUK KIMIA FISIKA

Kimia fisika menggunakan bahasa kuantitatif untuk menghubungkan komposisi materi, jumlah zat, energi, dan pengukuran. Bab ini menata kembali konsep dasar yang akan dipakai berulang kali pada gas dan termodinamika.

1.0 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. menjelaskan konsep inti yang membentuk konsep dasar kimia secara konsisten dengan definisi termodinamika dan kimia fisika;
2. menggunakan persamaan dasar dengan satuan yang benar serta menyatakan asumsi dan kendala proses;
3. menafsirkan grafik, tabel, dan hasil perhitungan dari sudut pandang fisik, bukan hanya aljabar;
4. menganalisis keterbatasan model ideal dan menghubungkannya dengan perilaku sistem nyata;
5. menyelesaikan soal konseptual dan numerik secara bertahap dengan pemeriksaan dimensi dan kewajaran hasil.



Gambar 1.1. Ilustrasi konseptual untuk konsep dasar kimia.

1.1 PENDAHULUAN

Kimia fisika mempelajari keterkaitan antara sifat makroskopik materi dan model mikroskopik yang menjelaskannya. Pengukuran, satuan, dan definisi operasional diperlukan agar hubungan tersebut dapat dinyatakan secara kuantitatif. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, pendahuluan harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, pendahuluan menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk

lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas pendahuluan, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

1.2 KLASIFIKASI MATERI

Materi dapat dipandang sebagai zat murni atau campuran. Zat murni memiliki komposisi dan sifat karakteristik pada kondisi tertentu, sedangkan campuran dapat mempunyai komposisi yang berubah dan sifat yang bergantung pada komposisinya. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, klasifikasi materi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi

antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, klasifikasi materi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

1.3 UNSUR, SENYAWA, DAN SPESIES KIMIA

Unsur tersusun dari atom dengan nomor atom yang sama, sedangkan senyawa terbentuk dari dua atau lebih unsur dalam perbandingan tertentu. Spesies kimia mencakup atom, molekul, ion, dan radikal yang dapat dibedakan secara kimia. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, unsur, senyawa, dan spesies kimia harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, unsur, senyawa, dan spesies kimia menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas unsur, senyawa, dan spesies kimia, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

1.3.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan unsur, senyawa, dan spesies kimia. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

1.4 MASSA ATOM RELATIF DAN MASSA MOLAR

Skala massa atom relatif menghubungkan massa atom dengan standar isotop karbon-12. Massa molar menyatakan massa satu mol partikel dan menjadi

jembatan antara besaran mikroskopik dengan massa yang diukur di laboratorium. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, massa atom relatif dan massa molar harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $M = m/n$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, massa atom relatif dan massa molar menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$M = m/n$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas massa atom relatif dan massa molar. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

1.5 SIMBOL, RUMUS, DAN KOMPOSISI

Simbol unsur dan rumus kimia menyandikan identitas serta perbandingan atom dalam zat. Rumus empiris menyatakan perbandingan bulat terkecil, sedangkan rumus molekul menyatakan jumlah atom yang sebenarnya dalam satu molekul. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, simbol, rumus, dan komposisi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, simbol, rumus, dan komposisi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas simbol, rumus, dan komposisi, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

1.6 MOL DAN JUMLAH PARTIKEL

Satu mol mengandung sejumlah entitas elementer yang ditentukan oleh konstanta Avogadro. Besaran jumlah zat memungkinkan perhitungan stoikiometri dan hubungan antara massa, jumlah partikel, serta volume gas. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, mol dan jumlah partikel harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $N = nN_A$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan

sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, mol dan jumlah partikel menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$N = nN_A$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas mol dan jumlah partikel. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

1.6.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan mol dan jumlah partikel. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

1.7 PERSAMAAN REAKSI KIMIA

Persamaan reaksi yang setara memenuhi kekekalan atom dan muatan. Koefisien stoikiometri memberikan perbandingan jumlah zat dan menjadi dasar untuk menghitung pereaksi pembatas, hasil teoritis, serta perubahan komposisi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, persamaan reaksi kimia harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\sum v_i A_i = 0$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, persamaan reaksi kimia menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran

mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\sum v_i A_i = 0$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas persamaan reaksi kimia. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas persamaan reaksi kimia, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

1.8 SISTEM INTERNASIONAL DAN ANALISIS DIMENSI

Sistem Internasional menyediakan satuan dasar dan turunan yang konsisten. Analisis dimensi membantu memeriksa kesesuaian persamaan, melakukan konversi satuan, dan mencegah kesalahan faktor skala. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, sistem internasional dan analisis dimensi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak

terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, sistem internasional dan analisis dimensi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

Tabel 1.1. Besaran dan hubungan kunci pada Bab 1.

Besaran	Simbol	Satuan SI	Makna
Jumlah zat	n	mol	banyaknya entitas kimia
Massa molar	M	kg mol ⁻¹	massa per mol
Massa	m	kg	ukuran kelembaman materi
Suhu termodinamik	T	K	parameter keadaan termal
Tekanan	p	Pa	gaya normal per luas
Volume	V	m ³	ruang yang ditempati sistem

1.A STUDI KASUS TERPADU

Studi kasus pada bab ini dirancang untuk menghubungkan beberapa subtopik sekaligus. Misalkan sebuah sistem laboratorium dipantau melalui tekanan, temperatur, volume, atau komposisinya sesuai topik konsep dasar kimia. Data awal diperoleh dari alat yang memiliki resolusi terbatas. Mahasiswa diminta menentukan model paling sederhana yang sesuai, melakukan perhitungan, lalu menilai apakah hasil masih berada pada domain asumsi model.

Analisis harus dimulai dari identifikasi sistem dan batas. Tuliskan besaran yang bersifat ekstensif dan intensif, kemudian tentukan variabel yang dikendalikan.

Setelah persamaan dipilih, semua data dikonversi ke satuan yang konsisten. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan kecenderungan fisis: apakah tekanan seharusnya meningkat atau menurun, apakah energi masuk atau keluar, dan apakah perubahan yang diprediksi realistis terhadap skala eksperimen.

Tahap terakhir adalah evaluasi ketidakpastian dan asumsi. Bila hasil menyimpang dari prediksi, jangan langsung menyebut kesalahan manusia. Tanyakan apakah ada kebocoran, pertukaran kalor, nonidealitas, keterlambatan sensor, perubahan fase, atau asumsi kesetimbangan yang tidak terpenuhi. Pendekatan ini melatih pemikiran kimia fisika yang dapat dipertanggungjawabkan dan dapat diterapkan pada eksperimen maupun simulasi.

CONTOH SOAL TERBIMBING

Contoh 1. Sebanyak 18,0 g air memiliki massa molar 18,015 g mol⁻¹. Hitung jumlah mol air.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $n=m/M=18,0/18,015=0.9992$ mol. Nilai dibulatkan sesuai angka penting menjadi sekitar 0.999 mol. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 2. Dengan hasil soal sebelumnya, perkirakan jumlah molekul air.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $N = nN_A = (0.9992)(6,02214076 \times 10^{23}) = 6.017e+23$ molekul. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 3. Reaksi $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ diberi 4,0 mol H_2 dan 1,5 mol O_2 . Tentukan pereaksi pembatas dan mol H_2O maksimum.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. Untuk 4,0 mol H_2 diperlukan 2,0 mol O_2 , tetapi tersedia 1,5 mol; jadi O_2 pembatas. Dari stoikiometri 1 mol O_2 menghasilkan 2 mol H_2O , sehingga hasil teoritis = 3,0 mol H_2O . Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 4. Konversikan 1,00 atm ke pascal menggunakan $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $1,00 \text{ atm} \times 101325 \text{ Pa atm}^{-1} = 1,01325 \times 10^5 \text{ Pa}$. Dengan tiga angka penting: $1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 5. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan simbol, rumus, dan komposisi. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Simbol unsur dan rumus kimia menyandikan identitas serta perbandingan atom dalam zat. Rumus empiris menyatakan perbandingan bulat terkecil, sedangkan rumus molekul menyatakan jumlah atom yang sebenarnya dalam satu molekul. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada simbol, rumus, dan komposisi dan pada tema bab, yaitu ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung

kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 6. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan mol dan jumlah partikel. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Satu mol mengandung sejumlah entitas elementer yang ditentukan oleh konstanta Avogadro. Besaran jumlah zat memungkinkan perhitungan stoikiometri dan hubungan antara massa, jumlah partikel, serta volume gas. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $N = nN_A$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada mol dan jumlah partikel dan pada tema bab, yaitu ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 7. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan persamaan reaksi kimia. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Persamaan reaksi yang setara memenuhi kekekalan atom dan muatan. Koefisien stoikiometri memberikan perbandingan

jumlah zat dan menjadi dasar untuk menghitung pereaksi pembatas, hasil teoritis, serta perubahan komposisi. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $\sum v_i A_i = 0$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada persamaan reaksi kimia dan pada tema bab, yaitu ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 8. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan sistem internasional dan analisis dimensi. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Sistem Internasional menyediakan satuan dasar dan turunan yang konsisten. Analisis dimensi membantu memeriksa kesesuaian persamaan, melakukan konversi satuan, dan mencegah kesalahan faktor skala. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan

tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada sistem internasional dan analisis dimensi dan pada tema bab, yaitu ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 9. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan pendahuluan. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Kimia fisika mempelajari keterkaitan antara sifat makroskopik materi dan model mikroskopik yang menjelaskannya. Pengukuran, satuan, dan definisi operasional diperlukan agar hubungan tersebut dapat dinyatakan secara kuantitatif. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada pendahuluan dan pada tema bab, yaitu ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan.

Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 10. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan klasifikasi materi. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Materi dapat dipandang sebagai zat murni atau campuran. Zat murni memiliki komposisi dan sifat karakteristik pada kondisi tertentu, sedangkan campuran dapat mempunyai komposisi yang berubah dan sifat yang bergantung pada komposisinya. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada klasifikasi materi dan pada tema bab, yaitu ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 11. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan unsur, senyawa, dan spesies kimia. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Unsur tersusun dari atom dengan nomor atom yang sama, sedangkan senyawa terbentuk dari dua atau lebih unsur dalam

perbandingan tertentu. Spesies kimia mencakup atom, molekul, ion, dan radikal yang dapat dibedakan secara kimia. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada unsur, senyawa, dan spesies kimia dan pada tema bab, yaitu ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 12. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan massa atom relatif dan massa molar. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Skala massa atom relatif menghubungkan massa atom dengan standar isotop karbon-12. Massa molar menyatakan massa satu mol partikel dan menjadi jembatan antara besaran mikroskopik dengan massa yang diukur di laboratorium. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $M = m/n$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus

menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada massa atom relatif dan massa molar dan pada tema bab, yaitu ketelitian definisi, stoikiometri, dan konsistensi satuan. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

1.B RANGKUMAN

1. Kimia fisika mempelajari keterkaitan antara sifat makroskopik materi dan model mikroskopik yang menjelaskannya.
2. Materi dapat dipandang sebagai zat murni atau campuran.
3. Unsur tersusun dari atom dengan nomor atom yang sama, sedangkan senyawa terbentuk dari dua atau lebih unsur dalam perbandingan tertentu.
4. Skala massa atom relatif menghubungkan massa atom dengan standar isotop karbon-12.
5. Simbol unsur dan rumus kimia menyandikan identitas serta perbandingan atom dalam zat.
6. Satu mol mengandung sejumlah entitas elementer yang ditentukan oleh konstanta Avogadro.
7. Persamaan reaksi yang setara memenuhi kekekalan atom dan muatan.
8. Sistem Internasional menyediakan satuan dasar dan turunan yang konsisten.

LATIHAN BAB

1. Jelaskan konsep pendahuluan dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
2. Bandingkan klasifikasi materi dengan unsur, senyawa, dan spesies kimia. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
3. Susun skema atau grafik kualitatif yang dapat digunakan untuk menguji unsur, senyawa, dan spesies kimia secara eksperimen. Jelaskan sumbu, variabel kontrol, dan bentuk data yang diharapkan.

4. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian massa atom relatif dan massa molar. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
5. Jelaskan konsep simbol, rumus, dan komposisi dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
6. Bandingkan mol dan jumlah partikel dengan persamaan reaksi kimia. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
7. Interpretasikan persamaan $\sum v_i A_i = 0$ pada konteks persamaan reaksi kimia. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
8. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian sistem internasional dan analisis dimensi. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
9. Jelaskan konsep pendahuluan dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
10. Bandingkan klasifikasi materi dengan unsur, senyawa, dan spesies kimia. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
11. Susun skema atau grafik kualitatif yang dapat digunakan untuk menguji unsur, senyawa, dan spesies kimia secara eksperimen. Jelaskan sumbu, variabel kontrol, dan bentuk data yang diharapkan.
12. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian massa atom relatif dan massa molar. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
13. Jelaskan konsep simbol, rumus, dan komposisi dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
14. Bandingkan mol dan jumlah partikel dengan persamaan reaksi kimia. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
15. Interpretasikan persamaan $\sum v_i A_i = 0$ pada konteks persamaan reaksi kimia. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
16. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian sistem internasional dan analisis dimensi. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
17. Sebanyak 18,0 g air memiliki massa molar 18,015 g mol⁻¹. Hitung jumlah mol air.
18. Dengan hasil soal sebelumnya, perkirakan jumlah molekul air.
19. Reaksi $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ diberi 4,0 mol H₂ dan 1,5 mol O₂. Tentukan pereaksi pembatas dan mol H₂O maksimum.
20. Konversikan 1,00 atm ke pascal menggunakan 1 atm = 101325 Pa.

JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB

- Langkah 1 - identifikasi konsep: Kimia fisika mempelajari keterkaitan antara sifat makroskopik materi dan model mikroskopik yang menjelaskannya. Pengukuran, satuan, dan definisi operasional diperlukan agar hubungan tersebut dapat dinyatakan secara kuantitatif. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

- Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Materi dapat dipandang sebagai zat murni atau campuran. Zat murni memiliki komposisi dan sifat karakteristik pada kondisi tertentu, sedangkan campuran dapat mempunyai komposisi yang berubah dan sifat yang bergantung pada komposisinya. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Unsur tersusun dari atom dengan nomor atom yang sama, sedangkan senyawa terbentuk dari dua atau lebih unsur dalam perbandingan tertentu. Spesies kimia mencakup atom, molekul, ion, dan radikal yang dapat dibedakan secara kimia. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

- Langkah 1 - pilih satu variabel bebas yang dapat diubah secara terkontrol dan satu variabel respons. Langkah 2 - tahan faktor lain yang dapat mengacaukan interpretasi. Langkah 3 - buat grafik dan bandingkan bentuknya dengan prediksi konsep. Berdasarkan uraian inti, Unsur tersusun dari atom dengan nomor atom yang sama, sedangkan senyawa terbentuk dari dua atau lebih unsur dalam perbandingan tertentu. Spesies kimia mencakup atom, molekul, ion, dan radikal yang dapat dibedakan secara kimia. Penyimpangan harus dianalisis sebagai kemungkinan nonidealitas atau ketidakpastian, bukan langsung dibuang.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

- Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada massa atom relatif dan massa molar. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran,

pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Skala massa atom relatif menghubungkan massa atom dengan standar isotop karbon-12. Massa molar menyatakan massa satu mol partikel dan menjadi jembatan antara besaran mikroskopik dengan massa yang diukur di laboratorium.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

5. Langkah 1 - identifikasi konsep: Simbol unsur dan rumus kimia menyandikan identitas serta perbandingan atom dalam zat. Rumus empiris menyatakan perbandingan bulat terkecil, sedangkan rumus molekul menyatakan jumlah atom yang sebenarnya dalam satu molekul. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

6. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Satu mol mengandung sejumlah entitas elementer yang ditentukan oleh konstanta Avogadro. Besaran jumlah zat memungkinkan perhitungan stoikiometri dan hubungan antara massa, jumlah partikel, serta volume gas. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Persamaan reaksi yang setara memenuhi kekekalan atom dan muatan. Koefisien stoikiometri memberikan perbandingan jumlah zat dan menjadi dasar untuk menghitung pereaksi pembatas, hasil teoritis, serta perubahan komposisi. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

7. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $\sum v_i A_i = 0$ berlaku sebagai representasi persamaan reaksi kimia di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

8. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada sistem internasional dan analisis dimensi. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Sistem Internasional menyediakan satuan dasar dan turunan yang konsisten. Analisis dimensi membantu memeriksa kesesuaian persamaan, melakukan konversi satuan, dan mencegah kesalahan faktor skala.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

9. Langkah 1 - identifikasi konsep: Kimia fisika mempelajari keterkaitan antara sifat makroskopik materi dan model mikroskopik yang menjelaskannya. Pengukuran, satuan, dan definisi operasional diperlukan agar hubungan tersebut dapat dinyatakan secara kuantitatif. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

10. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Materi dapat dipandang sebagai zat murni atau campuran. Zat murni memiliki komposisi dan sifat karakteristik pada kondisi tertentu, sedangkan campuran dapat mempunyai komposisi yang berubah dan sifat yang bergantung pada komposisinya. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Unsur tersusun dari atom dengan nomor atom yang sama, sedangkan senyawa terbentuk dari dua atau lebih unsur dalam perbandingan tertentu. Spesies kimia mencakup atom, molekul, ion, dan radikal yang dapat dibedakan secara kimia. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

11. Langkah 1 - pilih satu variabel bebas yang dapat diubah secara terkontrol dan satu variabel respons. Langkah 2 - tahan faktor lain yang dapat mengacaukan interpretasi. Langkah 3 - buat grafik dan bandingkan bentuknya dengan prediksi konsep. Berdasarkan uraian inti, Unsur tersusun dari atom dengan nomor atom yang sama, sedangkan senyawa terbentuk dari dua atau lebih unsur dalam perbandingan tertentu. Spesies kimia mencakup atom, molekul, ion, dan radikal yang dapat dibedakan secara kimia. Penyimpangan harus dianalisis sebagai kemungkinan nonidealitas atau ketidakpastian, bukan langsung dibuang.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

12. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada massa atom relatif dan massa molar. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Skala massa atom relatif menghubungkan massa atom dengan standar isotop karbon-12. Massa molar menyatakan massa satu mol partikel dan menjadi jembatan antara besaran mikroskopik dengan massa yang diukur di laboratorium.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

13. Langkah 1 - identifikasi konsep: Simbol unsur dan rumus kimia menyandikan identitas serta perbandingan atom dalam zat. Rumus empiris menyatakan perbandingan bulat terkecil, sedangkan rumus molekul menyatakan jumlah atom yang sebenarnya dalam satu molekul. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

14. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Satu mol mengandung sejumlah entitas elementer yang ditentukan oleh konstanta Avogadro. Besaran jumlah zat memungkinkan perhitungan stoikiometri dan hubungan antara massa, jumlah partikel, serta volume gas. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Persamaan reaksi yang setara memenuhi kekekalan atom dan muatan. Koefisien stoikiometri memberikan perbandingan jumlah zat dan menjadi dasar untuk menghitung pereaksi pembatas, hasil teoritis, serta perubahan komposisi. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan

variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

15. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $\sum v_i A_i = 0$ berlaku sebagai representasi persamaan reaksi kimia di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

16. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada sistem internasional dan analisis dimensi. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Sistem Internasional menyediakan satuan dasar dan turunan yang konsisten. Analisis dimensi membantu memeriksa kesesuaian persamaan, melakukan konversi satuan, dan mencegah kesalahan faktor skala.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

17. $n = m/M = 18,0/18,015 = 0.9992$ mol. Nilai dibulatkan sesuai angka penting menjadi sekitar 0.999 mol.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

18. $N = nN_A = (0.9992)(6,02214076 \times 10^{23}) = 6.017 \times 10^{23}$ molekul.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

19. Untuk 4,0 mol H_2 diperlukan 2,0 mol O_2 , tetapi tersedia 1,5 mol; jadi O_2 pembatas. Dari stoikiometri 1 mol O_2 menghasilkan 2 mol H_2O , sehingga hasil teoritis = 3,0 mol H_2O .

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

20. $1,00 \text{ atm} \times 101325 \text{ Pa atm}^{-1} = 1,01325 \times 10^5 \text{ Pa}$. Dengan tiga angka penting: $1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

SOAL PENGEMBANGAN

1. Rancang eksperimen atau simulasi sederhana untuk menguji salah satu hubungan utama pada Bab 1. Tentukan variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, dan kriteria kualitas data.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

2. Pilih dua subbab pada Bab 1 yang tampak terpisah. Tunjukkan hubungan konseptual atau matematis di antara keduanya dengan diagram alur dan penjelasan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

3. Cari satu kondisi ketika model sederhana pada bab ini tidak lagi memadai. Jelaskan gejala penyimpangannya dan jenis model atau koreksi yang diperlukan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

4. Susun satu masalah terbuka yang memiliki lebih dari satu cara penyelesaian. Bandingkan kelebihan dan keterbatasan tiap cara dari sisi data yang dibutuhkan dan asumsi.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria

yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

5. Buat peta konsep satu halaman yang menghubungkan definisi, persamaan, grafik, contoh eksperimen, dan sumber ketidakpastian utama pada bab ini.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

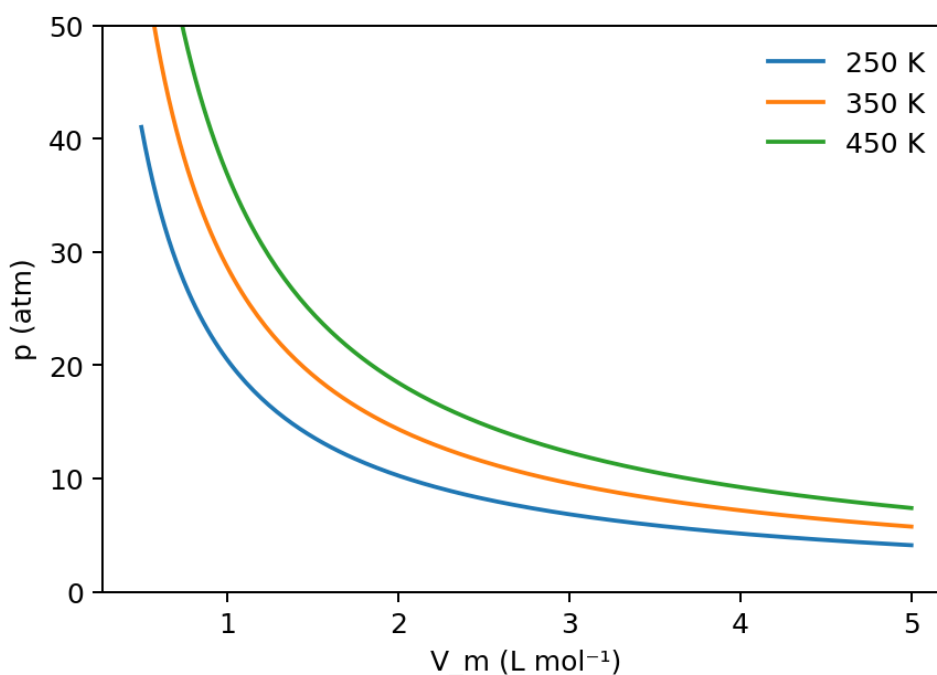
2

BAB 2. SIFAT EMPIRIS GAS

Gas merupakan sistem sederhana yang sangat penting untuk memperkenalkan persamaan keadaan. Hubungan eksperimen antara tekanan, volume, temperatur, dan jumlah zat menjadi pijakan bagi termodinamika.

2.0 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. menjelaskan konsep inti yang membentuk sifat empiris gas secara konsisten dengan definisi termodinamika dan kimia fisika;
2. menggunakan persamaan dasar dengan satuan yang benar serta menyatakan asumsi dan kendala proses;
3. menafsirkan grafik, tabel, dan hasil perhitungan dari sudut pandang fisik, bukan hanya aljabar;
4. menganalisis keterbatasan model ideal dan menghubungkannya dengan perilaku sistem nyata;
5. menyelesaikan soal konseptual dan numerik secara bertahap dengan pemeriksaan dimensi dan kewajaran hasil.



Gambar 2.1. Ilustrasi konseptual untuk sifat empiris gas.

2.1 HUKUM BOYLE DAN HUKUM CHARLES

Pada jumlah gas tetap, Hukum Boyle menyatakan bahwa tekanan berbanding terbalik dengan volume pada temperatur konstan. Hukum Charles menyatakan bahwa volume gas ideal berbanding lurus dengan temperatur absolut pada tekanan konstan. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan hubungan empiris antarvariabel keadaan gas dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, hukum boyle dan hukum charles harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $pV = \text{konstan}$; $V/T = \text{konstan}$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, hukum boyle dan hukum charles menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran

mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$pV = \text{konstan}; V/T = \text{konstan}$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas hukum boyle dan hukum charles. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas hukum boyle dan hukum charles, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

2.2 HUKUM AVOGADRO DAN PERSAMAAN GAS IDEAL

Hukum Avogadro menyatakan bahwa pada temperatur dan tekanan sama, volume gas ideal berbanding lurus dengan jumlah zat. Penggabungan hukum-hukum gas menghasilkan persamaan gas ideal. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan hubungan empiris antarvariabel keadaan gas dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, hukum avogadro dan persamaan gas ideal harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $pV = nRT$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan

sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, hukum avogadro dan persamaan gas ideal menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$pV = nRT$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas hukum avogadro dan persamaan gas ideal. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

2.3 PERSAMAAN KEADAAN SERTA SIFAT EKSTENSIF DAN INTENSIF

Persamaan keadaan menghubungkan variabel keadaan yang diperlukan untuk menentukan kondisi makroskopik suatu sistem. Sifat ekstensif bergantung pada ukuran sistem, sedangkan sifat intensif tidak bergantung pada jumlah materi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan hubungan empiris antarvariabel keadaan gas dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, persamaan keadaan serta sifat ekstensif dan intensif harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $f(p,V,T,n)=0$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, persamaan keadaan serta sifat ekstensif dan intensif menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$f(p,V,T,n)=0$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas persamaan keadaan serta sifat ekstensif dan intensif. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas persamaan keadaan serta sifat ekstensif dan intensif, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

2.3.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan persamaan keadaan serta sifat ekstensif dan intensif. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

2.4 REPRESENTASI KEADAAN GAS IDEAL

Dua variabel intensif independen sudah cukup untuk menentukan keadaan satu fase gas ideal dengan komposisi tetap. Isoterm, isobar, dan isokor merupakan lintasan keadaan yang menahan satu variabel tetap. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan hubungan empiris antarvariabel keadaan gas dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, representasi keadaan gas ideal harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $p = RT/V_m$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, representasi keadaan gas ideal menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$p = RT/V_m$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas representasi keadaan gas ideal. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

2.5 PENENTUAN MASSA MOLAR GAS DAN ZAT VOLATIL

Massa molar gas dapat ditentukan dari massa sampel, volume, tekanan, dan temperatur jika perilakunya cukup ideal. Untuk zat volatil, sampel diuapkan pada kondisi terukur lalu jumlah mol dihitung dari persamaan gas. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan hubungan empiris antarvariabel keadaan gas dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, penentuan massa molar gas dan zat volatil harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola

eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $M = mRT/(pV)$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, penentuan massa molar gas dan zat volatil menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$M = mRT/(pV)$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas penentuan massa molar gas dan zat volatil. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas penentuan massa molar gas dan zat volatil, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

2.6 CAMPURAN GAS DAN VARIABEL KOMPOSISI

Komposisi campuran dapat dinyatakan dengan fraksi mol, fraksi massa, atau konsentrasi. Fraksi mol sangat berguna pada gas karena langsung berkaitan dengan kontribusi tekanan setiap komponen dalam campuran ideal. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan hubungan empiris antarvariabel keadaan gas dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, campuran gas dan variabel komposisi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $x_i = n_i / \sum n_i$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, campuran gas dan variabel komposisi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran

mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$x_i = n_i / \sum n_i$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas campuran gas dan variabel komposisi. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

2.6.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan campuran gas dan variabel komposisi. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

2.7 PERSAMAAN KEADAAN CAMPURAN DAN HUKUM DALTON

Dalam campuran gas ideal, tekanan total merupakan jumlah tekanan parsial komponen. Hukum Dalton mengikuti additivitas jumlah mol pada temperatur dan volume yang sama. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan hubungan empiris antarvariabel keadaan gas dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, persamaan keadaan campuran dan hukum Dalton harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $p = \sum p_i$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, persamaan keadaan campuran dan hukum dalton menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$p = \sum p_i$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas persamaan keadaan campuran dan hukum dalton. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas persamaan keadaan campuran dan hukum dalton, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

2.8 TEKANAN PARSIAL

Tekanan parsial adalah tekanan hipotetik suatu komponen apabila komponen itu sendiri menempati volume campuran pada temperatur yang sama. Untuk gas ideal, tekanan parsial sama dengan fraksi mol dikali tekanan total. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan hubungan empiris antarvariabel keadaan gas dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, tekanan parsial harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $p_i = x_i p$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, tekanan parsial menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan

fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$p_i = x_i p$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas tekanan parsial. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

2.9 DISTRIBUSI BAROMETRIK

Dalam medan gravitasi, tekanan dan kerapatan gas berkurang dengan ketinggian. Bentuk eksponensial distribusi barometrik muncul dari keseimbangan mekanik yang digabungkan dengan persamaan gas ideal. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan hubungan empiris antarvariabel keadaan gas dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, distribusi barometrik harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $p(z) = p_0 \exp[-Mgz/(RT)]$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang

tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, distribusi barometrik menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$p(z) = p_0 \exp[-Mgz/(RT)]$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas distribusi barometrik. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas distribusi barometrik, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

2.9.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan distribusi barometrik. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

Tabel 2.1. Besaran dan hubungan kunci pada Bab 2.

Besaran	Simbol	Satuan	Keterangan
---------	--------	--------	------------

Besaran	Simbol	Satuan	Keterangan
Konstanta gas	R	$8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$	konstanta universal
Tekanan	p	Pa	variabel intensif
Volume molar	V_m	$\text{m}^3 \text{ mol}^{-1}$	volume per mol
Fraksi mol	x_i	1	jumlah mol relatif
Kerapatan	ρ	kg m^{-3}	massa per volume

2.A STUDI KASUS TERPADU

Studi kasus pada bab ini dirancang untuk menghubungkan beberapa subtopik sekaligus. Misalkan sebuah sistem laboratorium dipantau melalui tekanan, temperatur, volume, atau komposisinya sesuai topik sifat empiris gas. Data awal diperoleh dari alat yang memiliki resolusi terbatas. Mahasiswa diminta menentukan model paling sederhana yang sesuai, melakukan perhitungan, lalu menilai apakah hasil masih berada pada domain asumsi model.

Analisis harus dimulai dari identifikasi sistem dan batas. Tuliskan besaran yang bersifat ekstensif dan intensif, kemudian tentukan variabel yang dikendalikan. Setelah persamaan dipilih, semua data dikonversi ke satuan yang konsisten. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan kecenderungan fisis: apakah tekanan seharusnya meningkat atau menurun, apakah energi masuk atau keluar, dan apakah perubahan yang diprediksi realistis terhadap skala eksperimen.

Tahap terakhir adalah evaluasi ketidakpastian dan asumsi. Bila hasil menyimpang dari prediksi, jangan langsung menyebut kesalahan manusia. Tanyakan apakah ada kebocoran, pertukaran kalor, nonidealitas, keterlambatan sensor, perubahan fase, atau asumsi kesetimbangan yang tidak terpenuhi. Pendekatan ini melatih pemikiran kimia fisika yang dapat dipertanggungjawabkan dan dapat diterapkan pada eksperimen maupun simulasi.

CONTOH SOAL TERBIMBING

Contoh 1. Gas 1,20 atm menempati 2,50 L pada temperatur konstan. Berapa tekanan ketika volumenya 1,50 L?

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. Hukum Boyle: $p_1V_1=p_2V_2$. $p_2=(1,20 \times 2,50)/1,50=2,00$ atm. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 2. Gas 2,00 L pada 300 K dipanaskan pada tekanan tetap menjadi 350 K. Hitung volume akhir.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. Hukum Charles: $V_2=V_1T_2/T_1=2,00 \times 350/300=2,33$ L. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 3. Sebanyak 0,500 mol gas ideal berada dalam 10,0 L pada 300 K. Hitung tekanannya dalam atm.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $p=nRT/V=0,500 \times 0,082057 \times 300/10,0=1.231$ atm. Tunjukkan operasi aljabar

secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 4. Kerapatan suatu gas $1,25 \text{ g L}^{-1}$ pada 300 K dan $1,00 \text{ atm}$. Perkirakan massa molarnya.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisis berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. Dari $\rho = pM/RT$ diperoleh $M = pRT/\rho = 1,25 \times 0,082057 \times 300 = 30.77 \text{ g mol}^{-1}$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 5. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan penentuan massa molar gas dan zat volatil. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Massa molar gas dapat ditentukan dari massa sampel, volume, tekanan, dan temperatur jika perilakunya cukup ideal. Untuk zat volatil, sampel diuapkan pada kondisi terukur lalu jumlah mol dihitung dari persamaan gas. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $M = mRT/(pV)$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematik atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada penentuan massa molar gas dan zat volatil dan pada tema bab, yaitu hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 6. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan campuran gas dan variabel komposisi. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematik, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Komposisi campuran dapat dinyatakan dengan fraksi mol, fraksi massa, atau konsentrasi. Fraksi mol sangat berguna pada gas karena langsung berkaitan dengan kontribusi tekanan setiap komponen dalam campuran ideal. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $x_i = n_i/\Sigma n_i$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematik atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen,

periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada campuran gas dan variabel komposisi dan pada tema bab, yaitu hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 7. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan persamaan keadaan campuran dan hukum dalton. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Dalam campuran gas ideal, tekanan total merupakan jumlah tekanan parsial komponen. Hukum Dalton mengikuti additivitas jumlah mol pada temperatur dan volume yang sama. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $p = \sum p_i$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada persamaan keadaan campuran dan hukum dalton dan pada tema bab, yaitu hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 8. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan tekanan parsial. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Tekanan parsial adalah tekanan hipotetik suatu komponen apabila komponen itu sendiri menempati volume campuran pada temperatur yang sama. Untuk gas ideal, tekanan parsial sama dengan fraksi mol dikali tekanan total. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $p_i = x_i p$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada tekanan parsial dan pada tema bab, yaitu hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 9. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan distribusi barometrik. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Dalam medan gravitasi, tekanan dan kerapatan gas berkurang dengan ketinggian. Bentuk eksponensial distribusi barometrik muncul dari keseimbangan mekanik yang digabungkan dengan persamaan gas ideal. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran,

tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $p(z) = p_0 \exp[-Mgz/(RT)]$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada distribusi barometrik dan pada tema bab, yaitu hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 10. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan hukum Boyle dan hukum Charles. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Pada jumlah gas tetap, Hukum Boyle menyatakan bahwa tekanan berbanding terbalik dengan volume pada temperatur konstan. Hukum Charles menyatakan bahwa volume gas ideal berbanding lurus dengan temperatur absolut pada tekanan konstan. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $pV = \text{konstan}$; $V/T = \text{konstan}$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada hukum Boyle dan hukum Charles dan pada tema bab, yaitu hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 11. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan hukum Avogadro dan persamaan gas ideal. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Hukum Avogadro menyatakan bahwa pada temperatur dan tekanan sama, volume gas ideal berbanding lurus dengan jumlah zat. Penggabungan hukum-hukum gas menghasilkan persamaan gas ideal. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $pV = nRT$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada hukum Avogadro dan persamaan gas ideal dan pada tema bab, yaitu hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Kesimpulan harus menyatakan apakah data

mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 12. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan persamaan keadaan serta sifat ekstensif dan intensif. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Persamaan keadaan menghubungkan variabel keadaan yang diperlukan untuk menentukan kondisi makroskopik suatu sistem. Sifat ekstensif bergantung pada ukuran sistem, sedangkan sifat intensif tidak bergantung pada jumlah materi. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $f(p, V, T, n) = 0$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada persamaan keadaan serta sifat ekstensif dan intensif dan pada tema bab, yaitu hubungan empiris antarvariabel keadaan gas. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

2.B RANGKUMAN

1. Pada jumlah gas tetap, Hukum Boyle menyatakan bahwa tekanan berbanding terbalik dengan volume pada temperatur konstan.
2. Hukum Avogadro menyatakan bahwa pada temperatur dan tekanan sama, volume gas ideal berbanding lurus dengan jumlah zat.

3. Persamaan keadaan menghubungkan variabel keadaan yang diperlukan untuk menentukan kondisi makroskopik suatu sistem.
4. Dua variabel intensif independen sudah cukup untuk menentukan keadaan satu fase gas ideal dengan komposisi tetap.
5. Massa molar gas dapat ditentukan dari massa sampel, volume, tekanan, dan temperatur jika perilakunya cukup ideal.
6. Komposisi campuran dapat dinyatakan dengan fraksi mol, fraksi massa, atau konsentrasi.
7. Dalam campuran gas ideal, tekanan total merupakan jumlah tekanan parsial komponen.
8. Tekanan parsial adalah tekanan hipotetik suatu komponen apabila komponen itu sendiri menempati volume campuran pada temperatur yang sama.
9. Dalam medan gravitasi, tekanan dan kerapatan gas berkurang dengan ketinggian.

LATIHAN BAB

1. Jelaskan konsep hukum boyle dan hukum charles dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
2. Bandingkan hukum avogadro dan persamaan gas ideal dengan persamaan keadaan serta sifat ekstensif dan intensif. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
3. Interpretasikan persamaan $f(p,V,T,n)=0$ pada konteks persamaan keadaan serta sifat ekstensif dan intensif. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
4. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian representasi keadaan gas ideal. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
5. Jelaskan konsep penentuan massa molar gas dan zat volatil dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
6. Bandingkan campuran gas dan variabel komposisi dengan persamaan keadaan campuran dan hukum dalton. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
7. Interpretasikan persamaan $p = \sum p_i$ pada konteks persamaan keadaan campuran dan hukum dalton. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.

8. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian tekanan parsial. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
9. Jelaskan konsep distribusi barometrik dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
10. Bandingkan hukum Boyle dan hukum Charles dengan hukum Avogadro dan persamaan gas ideal. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
11. Interpretasikan persamaan $pV = nRT$ pada konteks hukum Avogadro dan persamaan gas ideal. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
12. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian persamaan keadaan serta sifat ekstensif dan intensif. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
13. Jelaskan konsep representasi keadaan gas ideal dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
14. Bandingkan penentuan massa molar gas dan zat volatil dengan campuran gas dan variabel komposisi. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
15. Interpretasikan persamaan $x_i = n_i / \sum n_i$ pada konteks campuran gas dan variabel komposisi. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
16. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian persamaan keadaan campuran dan hukum Dalton. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
17. Gas 1,20 atm menempati 2,50 L pada temperatur konstan. Berapa tekanan ketika volumenya 1,50 L?
18. Gas 2,00 L pada 300 K dipanaskan pada tekanan tetap menjadi 350 K. Hitung volume akhir.
19. Sebanyak 0,500 mol gas ideal berada dalam 10,0 L pada 300 K. Hitung tekanannya dalam atm.
20. Kerapatan suatu gas $1,25 \text{ g L}^{-1}$ pada 300 K dan 1,00 atm. Perkirakan massa molarnya.

JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB

1. Langkah 1 - identifikasi konsep: Pada jumlah gas tetap, Hukum Boyle menyatakan bahwa tekanan berbanding terbalik dengan volume pada temperatur konstan. Hukum Charles menyatakan bahwa volume gas ideal berbanding lurus dengan

temperatur absolut pada tekanan konstan. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

2. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Hukum Avogadro menyatakan bahwa pada temperatur dan tekanan sama, volume gas ideal berbanding lurus dengan jumlah zat. Penggabungan hukum-hukum gas menghasilkan persamaan gas ideal. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Persamaan keadaan menghubungkan variabel keadaan yang diperlukan untuk menentukan kondisi makroskopik suatu sistem. Sifat ekstensif bergantung pada ukuran sistem, sedangkan sifat intensif tidak bergantung pada jumlah materi. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

3. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $f(p,V,T,n)=0$ berlaku sebagai representasi persamaan keadaan serta sifat ekstensif dan intensif di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

4. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada representasi keadaan gas ideal. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Dua variabel intensif independen sudah cukup untuk menentukan keadaan satu fase gas ideal dengan komposisi tetap. Isoterm, isobar, dan isokor merupakan lintasan keadaan yang menahan satu variabel tetap.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

5. Langkah 1 - identifikasi konsep: Massa molar gas dapat ditentukan dari massa sampel, volume, tekanan, dan temperatur jika perilakunya cukup ideal. Untuk zat volatil, sampel diuapkan pada kondisi terukur lalu jumlah mol dihitung dari persamaan gas. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

6. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Komposisi campuran dapat dinyatakan dengan fraksi mol, fraksi massa, atau konsentrasi. Fraksi mol sangat berguna pada gas karena langsung berkaitan dengan kontribusi tekanan setiap komponen dalam campuran ideal. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Dalam campuran gas ideal, tekanan total merupakan jumlah tekanan parsial komponen. Hukum Dalton mengikuti additivitas jumlah mol pada temperatur dan volume yang sama. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

7. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $p = \sum p_i$ berlaku sebagai representasi persamaan keadaan campuran dan hukum dalton di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

8. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada tekanan parsial. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus

mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Tekanan parsial adalah tekanan hipotetik suatu komponen apabila komponen itu sendiri menempati volume campuran pada temperatur yang sama. Untuk gas ideal, tekanan parsial sama dengan fraksi mol dikali tekanan total.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

9. Langkah 1 - identifikasi konsep: Dalam medan gravitasi, tekanan dan kerapatan gas berkurang dengan ketinggian. Bentuk eksponensial distribusi barometrik muncul dari keseimbangan mekanik yang digabungkan dengan persamaan gas ideal. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

10. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Pada jumlah gas tetap, Hukum Boyle menyatakan bahwa tekanan berbanding terbalik dengan volume pada temperatur konstan. Hukum Charles menyatakan bahwa volume gas ideal berbanding lurus dengan temperatur absolut pada tekanan konstan. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Hukum Avogadro menyatakan bahwa pada temperatur dan tekanan sama, volume gas ideal berbanding lurus dengan jumlah zat. Penggabungan hukum-hukum gas menghasilkan persamaan gas ideal. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

11. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $pV = nRT$ berlaku sebagai representasi hukum avogadro dan persamaan gas ideal di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

12. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada persamaan keadaan serta sifat ekstensif dan intensif. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Persamaan keadaan menghubungkan variabel keadaan yang diperlukan untuk menentukan kondisi makroskopik suatu sistem. Sifat ekstensif bergantung pada ukuran sistem, sedangkan sifat intensif tidak bergantung pada jumlah materi.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

13. Langkah 1 - identifikasi konsep: Dua variabel intensif independen sudah cukup untuk menentukan keadaan satu fase gas ideal dengan komposisi tetap. Isoterm, isobar, dan isokor merupakan lintasan keadaan yang menahan satu variabel tetap. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

14. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Massa molar gas dapat ditentukan dari massa sampel, volume, tekanan, dan temperatur jika perilakunya cukup ideal. Untuk zat volatil, sampel diuapkan pada kondisi terukur lalu jumlah mol dihitung dari persamaan gas. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Komposisi campuran dapat dinyatakan dengan fraksi mol, fraksi massa, atau konsentrasi. Fraksi mol sangat berguna pada gas karena langsung berkaitan dengan kontribusi tekanan setiap komponen dalam campuran ideal. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

15. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $x_i = n_i / \sum n_i$ berlaku sebagai representasi campuran gas dan variabel komposisi di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

16. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada persamaan keadaan campuran dan hukum dalton. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Dalam campuran gas ideal, tekanan total merupakan jumlah tekanan parsial komponen. Hukum Dalton mengikuti additivitas jumlah mol pada temperatur dan volume yang sama.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

17. Hukum Boyle: $p_1V_1=p_2V_2$. $p_2=(1,20 \times 2,50)/1,50=2,00$ atm.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

18. Hukum Charles: $V_2=V_1T_2/T_1=2,00 \times 350/300=2,33$ L.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

19. $p=nRT/V=0,500 \times 0,082057 \times 300/10,0=1,231$ atm.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

20. Dari $p=pM/RT$ diperoleh $M=pRT/p=1,25 \times 0,082057 \times 300=30,77$ g mol⁻¹.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

SOAL PENGEMBANGAN

1. Rancang eksperimen atau simulasi sederhana untuk menguji salah satu hubungan utama pada Bab 2. Tentukan variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, dan kriteria kualitas data.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria

yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

2. Pilih dua subbab pada Bab 2 yang tampak terpisah. Tunjukkan hubungan konseptual atau matematis di antara keduanya dengan diagram alur dan penjelasan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

3. Cari satu kondisi ketika model sederhana pada bab ini tidak lagi memadai. Jelaskan gejala penyimpangannya dan jenis model atau koreksi yang diperlukan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

4. Susun satu masalah terbuka yang memiliki lebih dari satu cara penyelesaian. Bandingkan kelebihan dan keterbatasan tiap cara dari sisi data yang dibutuhkan dan asumsi.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

5. Buat peta konsep satu halaman yang menghubungkan definisi, persamaan, grafik, contoh eksperimen, dan sumber ketidakpastian utama pada bab ini.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

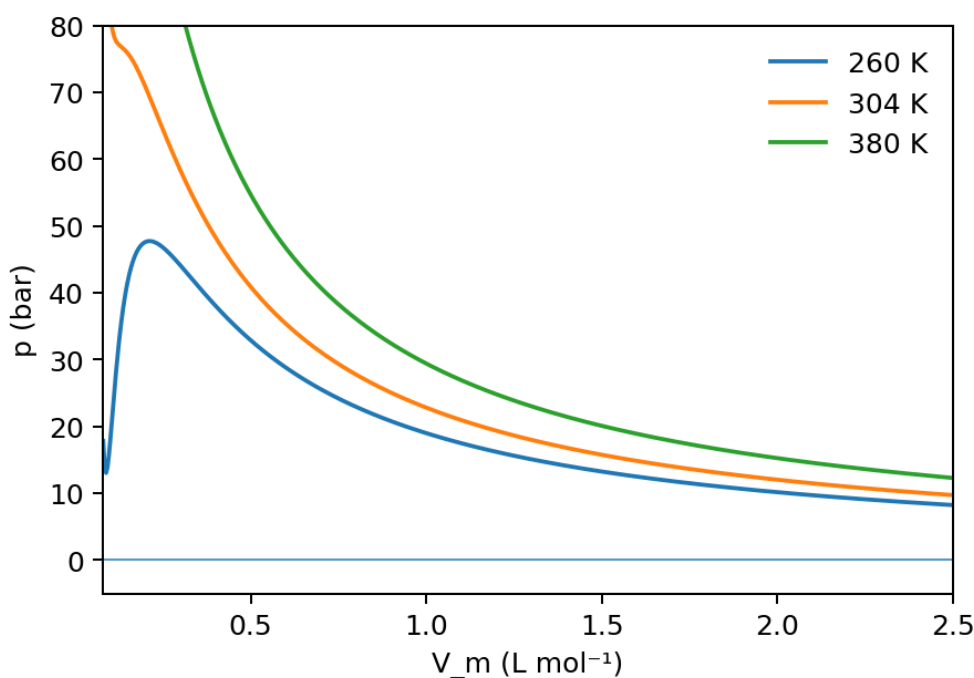
3

BAB 3. GAS RIIL DAN PERSAMAAN KEADAAN

Gas nyata menyimpang dari model ideal terutama pada tekanan tinggi dan temperatur rendah. Penyimpangan ini membawa informasi mengenai volume molekul, gaya antarmolekul, dan keadaan kritis.

3.0 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. menjelaskan konsep inti yang membentuk gas riil secara konsisten dengan definisi termodinamika dan kimia fisika;
2. menggunakan persamaan dasar dengan satuan yang benar serta menyatakan asumsi dan kendala proses;
3. menafsirkan grafik, tabel, dan hasil perhitungan dari sudut pandang fisik, bukan hanya aljabar;
4. menganalisis keterbatasan model ideal dan menghubungkannya dengan perilaku sistem nyata;
5. menyelesaikan soal konseptual dan numerik secara bertahap dengan pemeriksaan dimensi dan kewajaran hasil.



Gambar 3.1. Ilustrasi konseptual untuk gas riil.

3.1 PENYIMPANGAN DARI PERILAKU IDEAL

Faktor kompresibilitas Z mengukur penyimpangan gas dari persamaan gas ideal. Nilai Z mendekati satu pada limit tekanan rendah, sedangkan penyimpangan positif atau negatif mencerminkan dominasi tolakan atau tarikan antarmolekul. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, penyimpangan dari perilaku ideal harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $Z = pV_m/(RT)$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, penyimpangan dari perilaku ideal menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah:

besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$Z = pV_m/(RT)$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas penyimpangan dari perilaku ideal. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas penyimpangan dari perilaku ideal, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

3.2 PERSAMAAN VAN DER WAALS

Persamaan van der Waals memperbaiki model ideal dengan koreksi volume yang tersedia bagi translasi molekul dan koreksi tekanan akibat gaya tarik antarmolekul. Parameter a dan b bersifat khas bagi suatu zat. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, persamaan van der Waals harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $(p + a/V_m^2)(V_m - b) = RT$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, persamaan van der Waals menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$(p + a/V_m^2)(V_m - b) = RT$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas persamaan van der Waals. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

3.3 MAKNA FISIK PARAMETER VAN DER WAALS

Parameter b merepresentasikan ukuran efektif molekul, sedangkan a mencerminkan kekuatan tarikan rata-rata. Persamaan ini memprediksi nonidealitas, pencairan, dan keadaan kritis secara kualitatif. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, makna fisik parameter van der Waals harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola

eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, makna fisik parameter van der Waals menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas makna fisik parameter van der Waals, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

3.3.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan makna fisik parameter van der Waals. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan

variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

3.4 ISOTERM GAS RIIL

Isoterm gas nyata berubah dari daerah mirip ideal menjadi daerah di mana kondensasi dapat terjadi. Pada temperatur di bawah temperatur kritis, kompresi dapat menghasilkan koeksistensi fase cair dan uap. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, isoterm gas riil harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi

antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, isoterm gas riil menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

3.5 KONTINUITAS KEADAAN

Di atas titik kritis tidak terdapat batas tajam antara cairan dan gas. Dengan lintasan keadaan yang mengelilingi daerah dua fase, suatu zat dapat berubah dari keadaan berkerapatan rendah menjadi berkerapatan tinggi secara kontinu. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, kontinuitas keadaan harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, kontinuitas keadaan menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas kontinuitas keadaan, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

3.6 ISOTERM PERSAMAAN VAN DER WAALS

Isoterm van der Waals memperlihatkan daerah osilasi matematis pada temperatur subkritis. Bagian yang tidak stabil secara mekanik digantikan dalam sistem nyata oleh daerah dua fase pada tekanan koeksistensi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, isoterm persamaan van der waals harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $(\partial p / \partial V)_T < 0$ untuk stabilitas mekanik. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial,

subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematis dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, isoterm persamaan van der Waals menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$(\partial p / \partial V)_T < 0 \text{ untuk stabilitas mekanik}$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas isoterm persamaan van der Waals. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

3.6.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan isoterm persamaan van der Waals. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan

dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

3.7 KEADAAN KRITIS

Titik kritis ditandai oleh hilangnya perbedaan antara fase cair dan uap. Pada model van der Waals, kondisi kritis diperoleh dari turunan pertama dan kedua tekanan terhadap volume yang sama dengan nol. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, keadaan kritis harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $(\partial p / \partial V)_T = 0$; $(\partial^2 p / \partial V^2)_T = 0$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, keadaan kritis menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai

koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$(\partial p / \partial V)_T = 0; (\partial^2 p / \partial V^2)_T = 0$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas keadaan kritis. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas keadaan kritis, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

3.8 KEADAAN BERSESUAIAN

Prinsip keadaan bersesuaian menggunakan variabel tereduksi p_r , T_r , dan V_r untuk membandingkan berbagai fluida. Zat dengan variabel tereduksi sama cenderung menunjukkan perilaku termodinamik yang mirip. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, keadaan bersesuaian harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $p_r = p/p_c$; $T_r = T/T_c$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, keadaan bersesuaian menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$p_r = p/p_c; T_r = T/T_c$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas keadaan bersesuaian. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

3.9 PERSAMAAN KEADAAN LAIN

Persamaan virial, Redlich-Kwong, Soave-Redlich-Kwong, dan Peng-Robinson adalah contoh model yang memperbaiki deskripsi gas nyata pada rentang kondisi berbeda. Pemilihan model bergantung pada akurasi dan aplikasi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, persamaan keadaan lain harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan

asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $Z = 1 + B(T)/V_m + C(T)/V_m^2 + \dots$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, persamaan keadaan lain menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$Z = 1 + B(T)/V_m + C(T)/V_m^2 + \dots$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas persamaan keadaan lain. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas persamaan keadaan lain, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

3.9.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan persamaan keadaan lain. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

Tabel 3.1. Besaran dan hubungan kunci pada Bab 3.

Parameter	Simbol	Makna	Tren
Faktor kompresibilitas	Z	deviasi dari idealitas	$Z \rightarrow 1$ saat $p \rightarrow 0$
Parameter tarik	a	gaya tarik efektif	lebih besar untuk molekul mudah terpolarisasi
Kovolume	b	ukuran efektif molekul	terkait volume eksklusi
Temperatur kritis	T_c	batas koeksistensi cair-uap	di atasnya tidak ada kondensasi lewat tekanan saja
Tekanan kritis	p_c	tekanan pada titik kritis	parameter skala fluida

3.A STUDI KASUS TERPADU

Studi kasus pada bab ini dirancang untuk menghubungkan beberapa subtopik sekaligus. Misalkan sebuah sistem laboratorium dipantau melalui tekanan, temperatur, volume, atau komposisinya sesuai topik gas riil. Data awal diperoleh dari alat yang memiliki resolusi terbatas. Mahasiswa diminta menentukan model paling sederhana yang sesuai, melakukan perhitungan, lalu menilai apakah hasil masih berada pada domain asumsi model.

Analisis harus dimulai dari identifikasi sistem dan batas. Tuliskan besaran yang bersifat ekstensif dan intensif, kemudian tentukan variabel yang dikendalikan. Setelah persamaan dipilih, semua data dikonversi ke satuan yang konsisten. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan kecenderungan fisis: apakah tekanan

seharusnya meningkat atau menurun, apakah energi masuk atau keluar, dan apakah perubahan yang diprediksi realistis terhadap skala eksperimen.

Tahap terakhir adalah evaluasi ketidakpastian dan asumsi. Bila hasil menyimpang dari prediksi, jangan langsung menyebut kesalahan manusia. Tanyakan apakah ada kebocoran, pertukaran kalor, nonidealitas, keterlambatan sensor, perubahan fase, atau asumsi kesetimbangan yang tidak terpenuhi. Pendekatan ini melatih pemikiran kimia fisika yang dapat dipertanggungjawabkan dan dapat diterapkan pada eksperimen maupun simulasi.

CONTOH SOAL TERBIMBING

Contoh 1. Satu mol gas memiliki $V_m=1,00$ L pada 300 K dan 10,0 bar. Hitung faktor kompresibilitas Z ($R=0,08314$ L bar mol⁻¹ K⁻¹).

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $Z=pV_m/RT=10,0 \times 1,00 / (0,08314 \times 300) = 0.401$. Nilai di bawah satu menunjukkan tarikan efektif masih dominan. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 2. Gunakan persamaan van der Waals untuk CO₂ dengan $a=3,592$ L² bar mol⁻², $b=0,04267$ L mol⁻¹, $T=300$ K, $V_m=1,00$ L. Hitung p .

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $p = RT/(V_m - b) - a/V_m^2 = 26.05 - 3.59 = 22.46$ bar. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 3. Dari konstanta van der Waals di atas, hitung $T_c = 8a/(27Rb)$.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $T_c = 8(3,592)/(27 \times 0,08314 \times 0,04267) = 300.0$ K. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 4. Hitung $p_c = a/(27b^2)$ untuk konstanta yang sama.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $p_c = 3,592/[27(0,04267)^2] = 73.1$ bar. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke

logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 5. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan kontinuitas keadaan. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Di atas titik kritis tidak terdapat batas tajam antara cairan dan gas. Dengan lintasan keadaan yang mengelilingi daerah dua fase, suatu zat dapat berubah dari keadaan berkerapatan rendah menjadi berkerapatan tinggi secara kontinu. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada kontinuitas keadaan dan pada tema bab, yaitu koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 6. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan isoterm persamaan van der Waals. Susun cara analisis yang dapat

membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Isoterm van der Waals memperlihatkan daerah osilasi matematis pada temperatur subkritis. Bagian yang tidak stabil secara mekanik digantikan dalam sistem nyata oleh daerah dua fase pada tekanan koeksistensi. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $(\partial p / \partial V)_T < 0$ untuk stabilitas mekanik. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada isoterm persamaan van der Waals dan pada tema bab, yaitu koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 7. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan keadaan kritis. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Titik kritis ditandai oleh hilangnya perbedaan antara fase cair dan uap. Pada model van der Waals, kondisi kritis diperoleh dari turunan pertama dan kedua tekanan terhadap volume yang sama dengan nol. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $(\partial p / \partial V)_T = 0$; $(\partial^2 p / \partial V^2)_T = 0$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematik atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada keadaan kritis dan pada tema bab, yaitu koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 8. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan keadaan bersesuaian. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematik, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Prinsip keadaan bersesuaian menggunakan variabel tereduksi p_r , T_r , dan V_r untuk membandingkan berbagai fluida. Zat dengan variabel tereduksi sama cenderung menunjukkan perilaku termodinamik yang mirip. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $p_r = p/p_c$; $T_r = T/T_c$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematik atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen,

periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada keadaan bersesuaian dan pada tema bab, yaitu koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 9. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan persamaan keadaan lain. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Persamaan virial, Redlich-Kwong, Soave-Redlich-Kwong, dan Peng-Robinson adalah contoh model yang memperbaiki deskripsi gas nyata pada rentang kondisi berbeda. Pemilihan model bergantung pada akurasi dan aplikasi. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $Z = 1 + B(T)/V_m + C(T)/V_m^2 + \dots$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada persamaan keadaan lain dan pada tema bab, yaitu koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 10. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan penyimpangan dari perilaku ideal. Susun cara analisis yang dapat

membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Faktor kompresibilitas Z mengukur penyimpangan gas dari persamaan gas ideal. Nilai Z mendekati satu pada limit tekanan rendah, sedangkan penyimpangan positif atau negatif mencerminkan dominasi tolakan atau tarikan antarmolekul. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $Z = pV_m/(RT)$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada penyimpangan dari perilaku ideal dan pada tema bab, yaitu koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 11. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan persamaan van der Waals. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Persamaan van der Waals memperbaiki model ideal dengan koreksi volume yang tersedia bagi translasi molekul dan koreksi tekanan akibat gaya tarik antarmolekul. Parameter a dan b bersifat khas bagi suatu zat. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran,

tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $(p + a/V_m)(V_m - b) = RT$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada persamaan van der Waals dan pada tema bab, yaitu koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 12. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan makna fisik parameter van der Waals. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Parameter b merepresentasikan ukuran efektif molekul, sedangkan a mencerminkan kekuatan tarikan rata-rata. Persamaan ini memprediksi nonidealitas, pencairan, dan keadaan kritis secara kualitatif. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran

acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada makna fisik parameter van der Waals dan pada tema bab, yaitu koreksi idealitas dan interaksi antarmolekul. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

3.B RANGKUMAN

1. Faktor kompresibilitas Z mengukur penyimpangan gas dari persamaan gas ideal.
2. Persamaan van der Waals memperbaiki model ideal dengan koreksi volume yang tersedia bagi translasi molekul dan koreksi tekanan akibat gaya tarik antarmolekul.
3. Parameter b merepresentasikan ukuran efektif molekul, sedangkan a mencerminkan kekuatan tarikan rata-rata.
4. Isoterm gas nyata berubah dari daerah mirip ideal menjadi daerah di mana kondensasi dapat terjadi.
5. Di atas titik kritis tidak terdapat batas tajam antara cairan dan gas.
6. Isoterm van der Waals memperlihatkan daerah osilasi matematis pada temperatur subkritis.
7. Titik kritis ditandai oleh hilangnya perbedaan antara fase cair dan uap.
8. Prinsip keadaan bersesuaian menggunakan variabel tereduksi p_r , T_r , dan V_r untuk membandingkan berbagai fluida.
9. Persamaan virial, Redlich-Kwong, Soave-Redlich-Kwong, dan Peng-Robinson adalah contoh model yang memperbaiki deskripsi gas nyata pada rentang kondisi berbeda.

LATIHAN BAB

1. Jelaskan konsep penyimpangan dari perilaku ideal dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
2. Bandingkan persamaan van der Waals dengan makna fisik parameter van der Waals. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?

3. Susun skema atau grafik kualitatif yang dapat digunakan untuk menguji makna fisik parameter van der Waals secara eksperimen. Jelaskan sumbu, variabel kontrol, dan bentuk data yang diharapkan.
4. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian isoterm gas riil. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
5. Jelaskan konsep kontinuitas keadaan dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
6. Bandingkan isoterm persamaan van der Waals dengan keadaan kritis. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
7. Interpretasikan persamaan $(\partial p / \partial V)_T = 0$; $(\partial^2 p / \partial V^2)_T = 0$ pada konteks keadaan kritis. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
8. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian keadaan bersesuaian. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
9. Jelaskan konsep persamaan keadaan lain dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
10. Bandingkan penyimpangan dari perilaku ideal dengan persamaan van der Waals. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
11. Interpretasikan persamaan $(p + a/V_m^2)(V_m - b) = RT$ pada konteks persamaan van der Waals. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
12. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian makna fisik parameter van der Waals. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
13. Jelaskan konsep isoterm gas riil dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
14. Bandingkan kontinuitas keadaan dengan isoterm persamaan van der Waals. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
15. Interpretasikan persamaan $(\partial p / \partial V)_T < 0$ untuk stabilitas mekanik pada konteks isoterm persamaan van der Waals. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
16. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian keadaan kritis. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.

17. Satu mol gas memiliki $V_m=1,00$ L pada 300 K dan 10,0 bar. Hitung faktor kompresibilitas Z ($R=0,08314$ L bar mol⁻¹ K⁻¹).
18. Gunakan persamaan van der Waals untuk CO₂ dengan $a=3,592$ L² bar mol⁻², $b=0,04267$ L mol⁻¹, $T=300$ K, $V_m=1,00$ L. Hitung p .
19. Dari konstanta van der Waals di atas, hitung $T_c=8a/(27Rb)$.
20. Hitung $p_c=a/(27b^2)$ untuk konstanta yang sama.

JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB

1. Langkah 1 - identifikasi konsep: Faktor kompresibilitas Z mengukur penyimpangan gas dari persamaan gas ideal. Nilai Z mendekati satu pada limit tekanan rendah, sedangkan penyimpangan positif atau negatif mencerminkan dominasi tolakan atau tarikan antarmolekul. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

2. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Persamaan van der Waals memperbaiki model ideal dengan koreksi volume yang tersedia bagi translasi molekul dan koreksi tekanan akibat gaya tarik antarmolekul. Parameter a dan b bersifat khas bagi suatu zat. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Parameter b merepresentasikan ukuran efektif molekul, sedangkan a mencerminkan kekuatan tarikan rata-rata. Persamaan ini memprediksi nonidealitas, pencairan, dan keadaan kritis secara kualitatif. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

3. Langkah 1 - pilih satu variabel bebas yang dapat diubah secara terkontrol dan satu variabel respons. Langkah 2 - tahan faktor lain yang dapat mengacaukan interpretasi. Langkah 3 - buat grafik dan bandingkan bentuknya dengan prediksi konsep. Berdasarkan uraian inti, Parameter b merepresentasikan ukuran efektif molekul, sedangkan a mencerminkan kekuatan tarikan rata-rata. Persamaan ini memprediksi nonidealitas, pencairan, dan keadaan kritis secara kualitatif.

Penyimpangan harus dianalisis sebagai kemungkinan nonidealitas atau ketidakpastian, bukan langsung dibuang.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

4. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada isoterm gas riil. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Isoterm gas nyata berubah dari daerah mirip ideal menjadi daerah di mana kondensasi dapat terjadi. Pada temperatur di bawah temperatur kritis, kompresi dapat menghasilkan koeksistensi fase cair dan uap.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

5. Langkah 1 - identifikasi konsep: Di atas titik kritis tidak terdapat batas tajam antara cairan dan gas. Dengan lintasan keadaan yang mengelilingi daerah dua fase, suatu zat dapat berubah dari keadaan berkerapatan rendah menjadi berkerapatan tinggi secara kontinu. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

6. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Isoterm van der Waals memperlihatkan daerah osilasi matematis pada temperatur subkritis. Bagian yang tidak stabil secara mekanik digantikan dalam sistem nyata oleh daerah dua fase pada tekanan koeksistensi. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Titik kritis ditandai oleh hilangnya perbedaan antara fase cair dan uap. Pada model van der Waals, kondisi kritis diperoleh dari turunan pertama dan kedua tekanan terhadap volume yang sama dengan nol. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

7. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $(\partial p / \partial V)_T = 0$; $(\partial^2 p / \partial V^2)_T = 0$ berlaku sebagai representasi keadaan kritis di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

8. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada keadaan bersesuaian. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Prinsip keadaan bersesuaian menggunakan variabel tereduksi p_r , T_r , dan V_r untuk membandingkan berbagai fluida. Zat dengan variabel tereduksi sama cenderung menunjukkan perilaku termodinamik yang mirip.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

9. Langkah 1 - identifikasi konsep: Persamaan virial, Redlich-Kwong, Soave-Redlich-Kwong, dan Peng-Robinson adalah contoh model yang memperbaiki deskripsi gas nyata pada rentang kondisi berbeda. Pemilihan model bergantung pada akurasi dan aplikasi. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

10. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Faktor kompresibilitas Z mengukur penyimpangan gas dari persamaan gas ideal. Nilai Z mendekati satu pada limit tekanan rendah, sedangkan penyimpangan positif atau negatif mencerminkan dominasi tolakan atau tarikan antarmolekul. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Persamaan van der Waals memperbaiki model ideal dengan koreksi volume yang tersedia bagi translasi molekul dan koreksi tekanan akibat gaya tarik antarmolekul. Parameter a dan b bersifat khas bagi suatu zat. Langkah 3 -

bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

11. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $(p + a/V_m^2)(V_m - b) = RT$ berlaku sebagai representasi persamaan van der Waals di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

12. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada makna fisik parameter van der Waals. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Parameter b merepresentasikan ukuran efektif molekul, sedangkan a mencerminkan kekuatan tarikan rata-rata. Persamaan ini memprediksi nonidealitas, pencairan, dan keadaan kritis secara kualitatif.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

13. Langkah 1 - identifikasi konsep: Isoterm gas nyata berubah dari daerah mirip ideal menjadi daerah di mana kondensasi dapat terjadi. Pada temperatur di bawah temperatur kritis, kompresi dapat menghasilkan koeksistensi fase cair dan uap. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

14. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Di atas titik kritis tidak terdapat batas tajam antara cairan dan gas. Dengan lintasan keadaan yang mengelilingi daerah dua fase, suatu zat dapat berubah dari keadaan berkerapatan rendah menjadi

berkerapatan tinggi secara kontinu. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Isoterm van der Waals memperlihatkan daerah osilasi matematis pada temperatur subkritis. Bagian yang tidak stabil secara mekanik digantikan dalam sistem nyata oleh daerah dua fase pada tekanan koeksistensi. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

15. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $(\partial p / \partial V)_T < 0$ untuk stabilitas mekanik berlaku sebagai representasi isoterm persamaan van der Waals di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

16. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada keadaan kritis. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Titik kritis ditandai oleh hilangnya perbedaan antara fase cair dan uap. Pada model van der Waals, kondisi kritis diperoleh dari turunan pertama dan kedua tekanan terhadap volume yang sama dengan nol.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

17. $Z = pV_m / RT = 10,0 \times 1,00 / (0,08314 \times 300) = 0.401$. Nilai di bawah satu menunjukkan tarikan efektif masih dominan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

18. $p = RT / (V_m - b) - a / V_m^2 = 26.05 - 3.59 = 22.46$ bar.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

19. $T_c = 8(3,592)/(27 \times 0,08314 \times 0,04267) = 300,0 \text{ K}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

20. $p_c = 3,592/[27(0,04267)^2] = 73,1 \text{ bar}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

SOAL PENGEMBANGAN

1. Rancang eksperimen atau simulasi sederhana untuk menguji salah satu hubungan utama pada Bab 3. Tentukan variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, dan kriteria kualitas data.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

2. Pilih dua subbab pada Bab 3 yang tampak terpisah. Tunjukkan hubungan konseptual atau matematis di antara keduanya dengan diagram alur dan penjelasan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

3. Cari satu kondisi ketika model sederhana pada bab ini tidak lagi memadai. Jelaskan gejala penyimpangannya dan jenis model atau koreksi yang diperlukan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

4. Susun satu masalah terbuka yang memiliki lebih dari satu cara penyelesaian. Bandingkan kelebihan dan keterbatasan tiap cara dari sisi data yang dibutuhkan dan asumsi.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

5. Buat peta konsep satu halaman yang menghubungkan definisi, persamaan, grafik, contoh eksperimen, dan sumber ketidakpastian utama pada bab ini.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

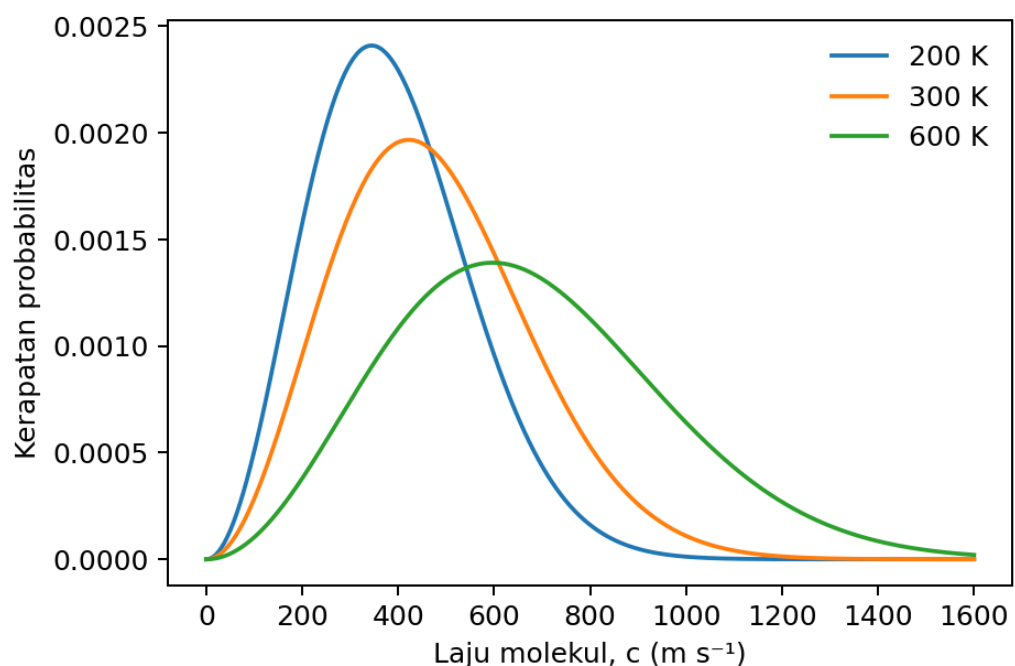
4

BAB 4. STRUKTUR MIKROSKOPIK GAS

Teori kinetik menghubungkan gerak molekul dengan tekanan, temperatur, dan energi. Distribusi Maxwell-Boltzmann memperlihatkan bahwa molekul dalam gas memiliki rentang kecepatan dan energi, bukan satu nilai tunggal.

4.0 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. menjelaskan konsep inti yang membentuk struktur gas secara konsisten dengan definisi termodinamika dan kimia fisika;
2. menggunakan persamaan dasar dengan satuan yang benar serta menyatakan asumsi dan kendala proses;
3. menafsirkan grafik, tabel, dan hasil perhitungan dari sudut pandang fisik, bukan hanya aljabar;
4. menganalisis keterbatasan model ideal dan menghubungkannya dengan perilaku sistem nyata;
5. menyelesaikan soal konseptual dan numerik secara bertahap dengan pemeriksaan dimensi dan kewajaran hasil.



Gambar 4.1. Ilustrasi konseptual untuk struktur gas.

4.1 PENDAHULUAN TEORI MOLEKULAR GAS

Sifat makroskopik gas dapat dipahami dengan menganggap materi terdiri dari partikel yang bergerak terus-menerus. Hubungan antara tumbukan molekul dengan dinding dan besaran termodinamik merupakan contoh penting pendekatan mikroskopik. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, pendahuluan teori molekular gas harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, pendahuluan teori molekular gas menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana

yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas pendahuluan teori molekular gas, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

4.2 ASUMSI DASAR TEORI KINETIK

Model kinetik gas ideal menganggap molekul bergerak acak, volumenya dapat diabaikan, tidak ada gaya antarmolekul kecuali saat tumbukan, dan tumbukan bersifat elastik. Asumsi tersebut menghasilkan persamaan tekanan gas ideal. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, asumsi dasar teori kinetik harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematis dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi

antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, asumsi dasar teori kinetik menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

4.3 PERHITUNGAN TEKANAN DARI GERAK MOLEKUL

Tekanan muncul dari perubahan momentum molekul ketika bertumbukan dengan dinding. Penjumlahan kontribusi semua arah menghasilkan hubungan antara tekanan, kerapatan jumlah partikel, dan rata-rata kuadrat kecepatan. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, perhitungan tekanan dari gerak molekul harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $pV = (1/3)Nm\langle c^2 \rangle$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka

karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, perhitungan tekanan dari gerak molekul menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$pV = (1/3)Nm\langle c^2 \rangle$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas perhitungan tekanan dari gerak molekul. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas perhitungan tekanan dari gerak molekul, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

4.3.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan perhitungan tekanan dari gerak molekul. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model,

sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

4.4 HUKUM DALTON DARI SUDUT KINETIK

Dalam campuran gas ideal, tiap spesies bergerak hampir independen dan menyumbang tekanan melalui tumbukannya sendiri. Karena momentum total pada dinding merupakan jumlah kontribusi spesies, tekanan parsial bersifat aditif. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, hukum dalton dari sudut kinetik harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $p = \sum p_i$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, hukum dalton dari sudut kinetik menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$p = \sum p_i$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas hukum dalton dari sudut kinetik. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

4.5 DISTRIBUSI DAN FUNGSI DISTRIBUSI

Fungsi distribusi menyatakan bagaimana suatu besaran, seperti kecepatan, tersebar pada populasi molekul. Normalisasi memastikan bahwa integral probabilitas pada seluruh rentang sama dengan satu. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, distribusi dan fungsi distribusi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\int f(c)dc = 1$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka

karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, distribusi dan fungsi distribusi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\int f(c)dc = 1$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas distribusi dan fungsi distribusi. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas distribusi dan fungsi distribusi, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

4.6 DISTRIBUSI KECEPATAN MAXWELL

Distribusi Maxwell memberikan probabilitas molekul memiliki laju dalam interval tertentu. Bentuk kurva bergantung pada temperatur dan massa molar: kenaikan temperatur memperlebar distribusi dan menggeser puncak ke laju lebih tinggi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, distribusi kecepatan maxwell harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil

kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $f(c)=4\pi(M/2\pi RT)^{(3/2)}c^2\exp[-Mc^2/(2RT)]$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, distribusi kecepatan maxwell menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$f(c)=4\pi(M/2\pi RT)^{(3/2)}c^2\exp[-Mc^2/(2RT)]$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas distribusi kecepatan maxwell. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

4.6.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan distribusi kecepatan maxwell. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir.

Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

4.7 SELINGAN MATEMATIKA UNTUK INTEGRAL GAUSSIAN

Integral Gaussian dan perubahan variabel sering digunakan dalam normalisasi distribusi Maxwell serta evaluasi nilai rata-rata. Teknik ini menunjukkan pentingnya matematika kontinu dalam statistik molekular. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, selingan matematika untuk integral gaussian harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\int_0^\infty x^2 e^{-ax^2} dx = \sqrt{\pi}/(4a^{3/2})$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka

karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, selingan matematika untuk integral gaussian menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\int_0^\infty x^2 e^{-ax^2} dx = \sqrt{\pi}/(4a^{3/2})$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas selingan matematika untuk integral gaussian. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas selingan matematika untuk integral gaussian, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

4.8 NORMALISASI DAN KONSTANTA DISTRIBUSI

Konstanta di depan fungsi distribusi dipilih agar jumlah probabilitas sama dengan satu. Kondisi ini menjaga konsistensi antara fungsi matematis dengan interpretasi sebagai distribusi populasi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, normalisasi dan konstanta distribusi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang

digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematis dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, normalisasi dan konstanta distribusi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

4.9 NILAI RATA-RATA DARI DISTRIBUSI MAXWELL

Kecepatan paling mungkin, kecepatan rata-rata, dan kecepatan akar-rata-rata-kuadrat memiliki nilai berbeda. Ketiganya bertambah dengan akar temperatur dan berkurang dengan akar massa molar. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, nilai rata-rata dari distribusi maxwell harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi

merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $c_{mp} = \sqrt{(2RT/M)}$; $c_{rms} = \sqrt{(3RT/M)}$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, nilai rata-rata dari distribusi maxwell menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$c_{mp} = \sqrt{(2RT/M)}; c_{rms} = \sqrt{(3RT/M)}$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas nilai rata-rata dari distribusi maxwell. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas nilai rata-rata dari distribusi maxwell, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses

disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

4.9.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan nilai rata-rata dari distribusi maxwell. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

4.10 DISTRIBUSI ENERGI TRANSLASI

Energi translasi berkaitan dengan kuadrat laju. Transformasi variabel dari kecepatan ke energi menghasilkan distribusi energi yang berguna untuk memahami fraksi molekul yang memiliki energi tertentu. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, distribusi energi translasi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $E_k = \frac{1}{2}mv^2$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan

harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, distribusi energi translasi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$E_k = \frac{1}{2}mc^2$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas distribusi energi translasi. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

4.11 EKIPARTISI ENERGI

Dalam limit klasik, setiap suku kuadrat independen dalam energi memberikan kontribusi rata-rata $\frac{1}{2}kT$ per molekul atau $\frac{1}{2}RT$ per mol untuk tiap derajat kebebasan. Hasil ini menjelaskan kapasitas kalor gas sederhana. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, ekipartisi energi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari

sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\langle E \rangle = (f/2)RT$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, ekipartisi energi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\langle E \rangle = (f/2)RT$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas ekipartisi energi. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas ekipartisi energi, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar

pada kendala yang salah.

4.12 EKIPARTISI DAN KUANTISASI

Derajat kebebasan tidak selalu aktif secara klasik pada semua temperatur. Rotasi dan terutama vibrasi dapat terkuantisasi sehingga kontribusinya terhadap energi dan kapasitas kalor bergantung pada temperatur karakteristik. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, ekipartisi dan kuantisasi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematis dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, ekipartisi dan kuantisasi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang

merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

4.12.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan ekipartisi dan kuantisasi. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

4.13 KAPASITAS KALOR VIBRASI

Osilator harmonik kuantum memiliki tingkat energi diskrit. Kapasitas kalor vibrasi meningkat dari hampir nol pada temperatur rendah menuju limit klasik saat temperatur jauh melebihi temperatur karakteristik vibrasi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, kapasitas kalor vibrasi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $C_{V,vib} = R(\theta_v/T)^2 e^{\theta_v/T} / (e^{\theta_v/T} - 1)^2$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau

logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, kapasitas kalor vibrasi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$C_{V,vib} = R(\theta_v/T)^2 e^{\{\theta_v/T\}} / (e^{\{\theta_v/T\}} - 1)^2$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas kapasitas kalor vibrasi. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas kapasitas kalor vibrasi, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

4.14 HUKUM DISTRIBUSI MAXWELL-BOLTZMANN

Distribusi Boltzmann menyatakan populasi relatif keadaan energi pada kesetimbangan termal. Keadaan berenergi lebih tinggi dihuni lebih sedikit menurut faktor eksponensial. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik

dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, hukum distribusi maxwell-boltzmann harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $N_i/N_j = (g_i/g_j)\exp[-(E_i-E_j)/(kT)]$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, hukum distribusi maxwell-boltzmann menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$N_i/N_j = (g_i/g_j)\exp[-(E_i-E_j)/(kT)]$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas hukum distribusi maxwell-boltzmann. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

4.15 VERIFIKASI EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI KECEPATAN

Eksperimen berkas molekul dan teknik spektroskopi dapat menguji distribusi kecepatan. Hasil pengukuran menunjukkan bentuk distribusi yang konsisten dengan teori pada gas encer dalam kesetimbangan. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, verifikasi eksperimental distribusi kecepatan harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematis dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, verifikasi eksperimental distribusi kecepatan menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai jembatan antara gerak molekul dan sifat

makroskopik. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas verifikasi eksperimental distribusi kecepatan, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

4.15.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan verifikasi eksperimental distribusi kecepatan. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

Tabel 4.1. Besaran dan hubungan kunci pada Bab 4.

Besaran	Rumus	Ketergantungan	Makna
Laju paling mungkin	$\sqrt{2RT/M}$	$\propto \sqrt{T}/\sqrt{M}$	puncak distribusi
Laju rata-rata	$\sqrt{8RT/\pi M}$	$\propto \sqrt{T}/\sqrt{M}$	rata-rata aritmetik
Laju rms	$\sqrt{3RT/M}$	$\propto \sqrt{T}/\sqrt{M}$	terkait energi kinetik
Energi translasi molar	$3RT/2$	$\propto T$	rata-rata untuk gas monoatomik

4.A STUDI KASUS TERPADU

Studi kasus pada bab ini dirancang untuk menghubungkan beberapa subtopik sekaligus. Misalkan sebuah sistem laboratorium dipantau melalui tekanan, temperatur, volume, atau komposisinya sesuai topik struktur gas. Data awal diperoleh dari alat yang memiliki resolusi terbatas. Mahasiswa diminta menentukan model paling sederhana yang sesuai, melakukan perhitungan, lalu menilai apakah hasil masih berada pada domain asumsi model.

Analisis harus dimulai dari identifikasi sistem dan batas. Tuliskan besaran yang bersifat ekstensif dan intensif, kemudian tentukan variabel yang dikendalikan. Setelah persamaan dipilih, semua data dikonversi ke satuan yang konsisten. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan kecenderungan fisis: apakah tekanan seharusnya meningkat atau menurun, apakah energi masuk atau keluar, dan apakah perubahan yang diprediksi realistis terhadap skala eksperimen.

Tahap terakhir adalah evaluasi ketidakpastian dan asumsi. Bila hasil menyimpang dari prediksi, jangan langsung menyebut kesalahan manusia. Tanyakan apakah ada kebocoran, pertukaran kalor, nonidealitas, keterlambatan sensor, perubahan fase, atau asumsi kesetimbangan yang tidak terpenuhi. Pendekatan ini melatih pemikiran kimia fisika yang dapat dipertanggungjawabkan dan dapat diterapkan pada eksperimen maupun simulasi.

CONTOH SOAL TERBIMBING

Contoh 1. Hitung laju rms O_2 pada 300 K ($M=0,032 \text{ kg mol}^{-1}$).

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $c_{\text{rms}} = \sqrt{3RT/M} = \sqrt{(3 \times 8,314 \times 300 / 0,032)} = 484 \text{ m s}^{-1}$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 2. Hitung laju paling mungkin O_2 pada 300 K.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $c_{mp} = \sqrt{(2RT/M)} = \sqrt{(2 \times 8,314 \times 300 / 0,032)} = 395 \text{ m s}^{-1}$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 3. Hitung energi kinetik translasi rata-rata satu mol gas monoatomik pada 300 K.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $\langle E \rangle = 3RT/2 = 1,5 \times 8,314 \times 300 = 3742 \text{ J mol}^{-1}$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 4. Bandingkan laju karakteristik H_2 ($M \approx 2 \text{ g mol}^{-1}$) dan N_2 ($M \approx 28 \text{ g mol}^{-1}$) pada temperatur sama.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. Laju $\propto 1/\sqrt{M}$, sehingga $c(\text{H}_2)/c(\text{N}_2) = \sqrt{(28/2)} = \sqrt{14} = 3.74$. H_2 bergerak sekitar 3.74 kali lebih cepat. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 5. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan distribusi dan fungsi distribusi. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Fungsi distribusi menyatakan bagaimana suatu besaran, seperti kecepatan, tersebar pada populasi molekul. Normalisasi memastikan bahwa integral probabilitas pada seluruh rentang sama dengan satu. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $\int f(c)dc = 1$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen,

periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada distribusi dan fungsi distribusi dan pada tema bab, yaitu jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 6. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan distribusi kecepatan maxwell. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Distribusi Maxwell memberikan probabilitas molekul memiliki laju dalam interval tertentu. Bentuk kurva bergantung pada temperatur dan massa molar: kenaikan temperatur memperlebar distribusi dan menggeser puncak ke laju lebih tinggi. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $f(c) = 4\pi(M/2\pi RT)^{3/2} c^2 \exp[-Mc^2/(2RT)]$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada distribusi kecepatan maxwell dan pada tema bab, yaitu jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 7. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan selingan matematika untuk integral gaussian. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Integral Gaussian dan perubahan variabel sering digunakan dalam normalisasi distribusi Maxwell serta evaluasi nilai rata-rata. Teknik ini menunjukkan pentingnya matematika kontinu dalam statistik molekular. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $\int_0^\infty x^2 e^{-ax^2} dx = \sqrt{\pi}/(4a^{3/2})$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada selingan matematika untuk integral gaussian dan pada tema bab, yaitu jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 8. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan normalisasi dan konstanta distribusi. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Konstanta di depan fungsi distribusi dipilih agar jumlah probabilitas sama dengan satu. Kondisi ini menjaga konsistensi antara fungsi matematis dengan interpretasi sebagai distribusi populasi. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan

variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada normalisasi dan konstanta distribusi dan pada tema bab, yaitu jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 9. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan nilai rata-rata dari distribusi maxwell. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Kecepatan paling mungkin, kecepatan rata-rata, dan kecepatan akar-rata-rata-kuadrat memiliki nilai berbeda. Ketiganya bertambah dengan akar temperatur dan berkurang dengan akar massa molar. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $c_{mp} = \sqrt{2RT/M}$; $c_{rms} = \sqrt{3RT/M}$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada nilai rata-rata dari distribusi maxwell dan pada tema bab, yaitu jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 10. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan distribusi energi translasi. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Energi translasi berkaitan dengan kuadrat laju. Transformasi variabel dari kecepatan ke energi menghasilkan distribusi energi yang berguna untuk memahami fraksi molekul yang memiliki energi tertentu. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $E_k = \frac{1}{2}mc^2$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada distribusi energi translasi dan pada tema bab, yaitu jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung

kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 11. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan ekipartisi energi. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Dalam limit klasik, setiap suku kuadrat independen dalam energi memberikan kontribusi rata-rata $\frac{1}{2}kT$ per molekul atau $\frac{1}{2}RT$ per mol untuk tiap derajat kebebasan. Hasil ini menjelaskan kapasitas kalor gas sederhana. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $\langle E \rangle = (f/2)RT$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada ekipartisi energi dan pada tema bab, yaitu jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 12. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan ekipartisi dan kuantisasi. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Derajat kebebasan tidak selalu aktif secara klasik pada semua temperatur. Rotasi dan terutama vibrasi dapat terkuantisasi sehingga kontribusinya terhadap energi dan kapasitas kalor bergantung pada temperatur

karakteristik. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada ekipartisi dan kuantisasi dan pada tema bab, yaitu jembatan antara gerak molekul dan sifat makroskopik. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

4.B RANGKUMAN

1. Sifat makroskopik gas dapat dipahami dengan menganggap materi terdiri dari partikel yang bergerak terus-menerus.
2. Model kinetik gas ideal menganggap molekul bergerak acak, volumenya dapat diabaikan, tidak ada gaya antarmolekul kecuali saat tumbukan, dan tumbukan bersifat elastik.
3. Tekanan muncul dari perubahan momentum molekul ketika bertumbukan dengan dinding.
4. Dalam campuran gas ideal, tiap spesies bergerak hampir independen dan menyumbang tekanan melalui tumbukannya sendiri.
5. Fungsi distribusi menyatakan bagaimana suatu besaran, seperti kecepatan, tersebar pada populasi molekul.
6. Distribusi Maxwell memberikan probabilitas molekul memiliki laju dalam interval tertentu.
7. Integral Gaussian dan perubahan variabel sering digunakan dalam normalisasi distribusi Maxwell serta evaluasi nilai rata-rata.

8. Konstanta di depan fungsi distribusi dipilih agar jumlah probabilitas sama dengan satu.
9. Kecepatan paling mungkin, kecepatan rata-rata, dan kecepatan akar-rata-rata-kuadrat memiliki nilai berbeda.
10. Energi translasi berkaitan dengan kuadrat laju.
11. Dalam limit klasik, setiap suku kuadrat independen dalam energi memberikan kontribusi rata-rata $\frac{1}{2}kT$ per molekul atau $\frac{1}{2}RT$ per mol untuk tiap derajat kebebasan.
12. Derajat kebebasan tidak selalu aktif secara klasik pada semua temperatur.
13. Osilator harmonik kuantum memiliki tingkat energi diskrit.
14. Distribusi Boltzmann menyatakan populasi relatif keadaan energi pada kesetimbangan termal.
15. Eksperimen berkas molekul dan teknik spektroskopi dapat menguji distribusi kecepatan.

LATIHAN BAB

1. Jelaskan konsep pendahuluan teori molekular gas dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
2. Bandingkan asumsi dasar teori kinetik dengan perhitungan tekanan dari gerak molekul. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
3. Interpretasikan persamaan $pV = (1/3)Nm\langle c^2 \rangle$ pada konteks perhitungan tekanan dari gerak molekul. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
4. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian hukum dalton dari sudut kinetik. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
5. Jelaskan konsep distribusi dan fungsi distribusi dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
6. Bandingkan distribusi kecepatan maxwell dengan selingan matematika untuk integral gaussian. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
7. Interpretasikan persamaan $\int_0^\infty x^2 e^{-ax^2} dx = \sqrt{\pi}/(4a^{3/2})$ pada konteks selingan matematika untuk integral gaussian. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.

8. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian normalisasi dan konstanta distribusi. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
9. Jelaskan konsep nilai rata-rata dari distribusi maxwell dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
10. Bandingkan distribusi energi translasi dengan ekipartisi energi. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
11. Interpretasikan persamaan $\langle E \rangle = (f/2)RT$ pada konteks ekipartisi energi. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
12. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian ekipartisi dan kuantisasi. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
13. Jelaskan konsep kapasitas kalor vibrasi dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
14. Bandingkan hukum distribusi maxwell-boltzmann dengan verifikasi eksperimental distribusi kecepatan. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
15. Susun skema atau grafik kualitatif yang dapat digunakan untuk menguji verifikasi eksperimental distribusi kecepatan secara eksperimen. Jelaskan sumbu, variabel kontrol, dan bentuk data yang diharapkan.
16. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian pendahuluan teori molekular gas. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
17. Hitung laju rms O_2 pada 300 K ($M=0,032 \text{ kg mol}^{-1}$).
18. Hitung laju paling mungkin O_2 pada 300 K.
19. Hitung energi kinetik translasi rata-rata satu mol gas monoatomik pada 300 K.
20. Bandingkan laju karakteristik H_2 ($M \approx 2 \text{ g mol}^{-1}$) dan N_2 ($M \approx 28 \text{ g mol}^{-1}$) pada temperatur sama.

JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB

1. Langkah 1 - identifikasi konsep: Sifat makroskopik gas dapat dipahami dengan menganggap materi terdiri dari partikel yang bergerak terus-menerus. Hubungan antara tumbukan molekul dengan dinding dan besaran termodinamik merupakan contoh penting pendekatan mikroskopik. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

- Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Model kinetik gas ideal menganggap molekul bergerak acak, volumenya dapat diabaikan, tidak ada gaya antarmolekul kecuali saat tumbukan, dan tumbukan bersifat elastik. Asumsi tersebut menghasilkan persamaan tekanan gas ideal. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Tekanan muncul dari perubahan momentum molekul ketika bertumbukan dengan dinding. Penjumlahan kontribusi semua arah menghasilkan hubungan antara tekanan, kerapatan jumlah partikel, dan rata-rata kuadrat kecepatan. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

- Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $pV = (1/3)Nm\langle c^2 \rangle$ berlaku sebagai representasi perhitungan tekanan dari gerak molekul di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

- Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada hukum dalton dari sudut kinetik. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Dalam campuran gas ideal, tiap spesies bergerak hampir independen dan menyumbang tekanan melalui tumbukannya sendiri. Karena momentum total pada dinding merupakan jumlah kontribusi spesies, tekanan parsial bersifat aditif.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

- Langkah 1 - identifikasi konsep: Fungsi distribusi menyatakan bagaimana suatu besaran, seperti kecepatan, tersebar pada populasi molekul. Normalisasi memastikan bahwa integral probabilitas pada seluruh rentang sama dengan satu. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta

apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

6. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Distribusi Maxwell memberikan probabilitas molekul memiliki laju dalam interval tertentu. Bentuk kurva bergantung pada temperatur dan massa molar: kenaikan temperatur memperlebar distribusi dan menggeser puncak ke laju lebih tinggi. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Integral Gaussian dan perubahan variabel sering digunakan dalam normalisasi distribusi Maxwell serta evaluasi nilai rata-rata. Teknik ini menunjukkan pentingnya matematika kontinu dalam statistik molekular. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

7. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $\int_{-\infty}^{\infty} x^2 e^{-ax^2} dx = \sqrt{\pi}/(4a^{3/2})$ berlaku sebagai representasi selingan matematika untuk integral gaussian di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

8. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada normalisasi dan konstanta distribusi. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Konstanta di depan fungsi distribusi dipilih agar jumlah probabilitas sama dengan satu. Kondisi ini menjaga konsistensi antara fungsi matematis dengan interpretasi sebagai distribusi populasi.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

9. Langkah 1 - identifikasi konsep: Kecepatan paling mungkin, kecepatan rata-rata, dan kecepatan akar-rata-rata-kuadrat memiliki nilai berbeda. Ketiganya bertambah dengan akar temperatur dan berkurang dengan akar massa molar. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

10. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Energi translasi berkaitan dengan kuadrat laju. Transformasi variabel dari kecepatan ke energi menghasilkan distribusi energi yang berguna untuk memahami fraksi molekul yang memiliki energi tertentu. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Dalam limit klasik, setiap suku kuadrat independen dalam energi memberikan kontribusi rata-rata $\frac{1}{2}kT$ per molekul atau $\frac{1}{2}RT$ per mol untuk tiap derajat kebebasan. Hasil ini menjelaskan kapasitas kalor gas sederhana. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

11. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $\langle E \rangle = (f/2)RT$ berlaku sebagai representasi ekipartisi energi di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

12. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada ekipartisi dan kuantisasi. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus

mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Derajat kebebasan tidak selalu aktif secara klasik pada semua temperatur. Rotasi dan terutama vibrasi dapat terkuantisasi sehingga kontribusinya terhadap energi dan kapasitas kalor bergantung pada temperatur karakteristik.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

13. Langkah 1 - identifikasi konsep: Osilator harmonik kuantum memiliki tingkat energi diskrit. Kapasitas kalor vibrasi meningkat dari hampir nol pada temperatur rendah menuju limit klasik saat temperatur jauh melebihi temperatur karakteristik vibrasi. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

14. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Distribusi Boltzmann menyatakan populasi relatif keadaan energi pada kesetimbangan termal. Keadaan berenergi lebih tinggi dihuni lebih sedikit menurut faktor eksponensial. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Eksperimen berkas molekul dan teknik spektroskopi dapat menguji distribusi kecepatan. Hasil pengukuran menunjukkan bentuk distribusi yang konsisten dengan teori pada gas encer dalam kesetimbangan. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

15. Langkah 1 - pilih satu variabel bebas yang dapat diubah secara terkontrol dan satu variabel respons. Langkah 2 - tahan faktor lain yang dapat mengacaukan interpretasi. Langkah 3 - buat grafik dan bandingkan bentuknya dengan prediksi konsep. Berdasarkan uraian inti, Eksperimen berkas molekul dan teknik spektroskopi dapat menguji distribusi kecepatan. Hasil pengukuran menunjukkan bentuk distribusi yang konsisten dengan teori pada gas encer dalam kesetimbangan. Penyimpangan harus dianalisis sebagai kemungkinan nonidealitas atau ketidakpastian, bukan langsung dibuang.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

16. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada pendahuluan teori molekular gas. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Sifat makroskopik gas dapat dipahami dengan menganggap materi terdiri dari partikel yang bergerak terus-menerus. Hubungan antara tumbukan molekul dengan dinding dan besaran termodinamik merupakan contoh penting pendekatan mikroskopik.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

17. $c_{\text{rms}} = \sqrt{(3RT/M)} = \sqrt{(3 \times 8,314 \times 300 / 0,032)} = 484 \text{ m s}^{-1}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

18. $c_{\text{mp}} = \sqrt{(2RT/M)} = \sqrt{(2 \times 8,314 \times 300 / 0,032)} = 395 \text{ m s}^{-1}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

19. $\langle E \rangle = 3RT/2 = 1,5 \times 8,314 \times 300 = 3742 \text{ J mol}^{-1}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

20. Laju $\propto 1/\sqrt{M}$, sehingga $c(\text{H}_2)/c(\text{N}_2) = \sqrt{(28/2)} = \sqrt{14} = 3.74$. H_2 bergerak sekitar 3.74 kali lebih cepat.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

SOAL PENGEMBANGAN

1. Rancang eksperimen atau simulasi sederhana untuk menguji salah satu hubungan utama pada Bab 4. Tentukan variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, dan kriteria kualitas data.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

2. Pilih dua subbab pada Bab 4 yang tampak terpisah. Tunjukkan hubungan konseptual atau matematis di antara keduanya dengan diagram alur dan penjelasan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

3. Cari satu kondisi ketika model sederhana pada bab ini tidak lagi memadai. Jelaskan gejala penyimpangannya dan jenis model atau koreksi yang diperlukan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

4. Susun satu masalah terbuka yang memiliki lebih dari satu cara penyelesaian. Bandingkan kelebihan dan keterbatasan tiap cara dari sisi data yang dibutuhkan dan asumsi.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

5. Buat peta konsep satu halaman yang menghubungkan definisi, persamaan, grafik, contoh eksperimen, dan sumber ketidakpastian utama pada bab ini.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

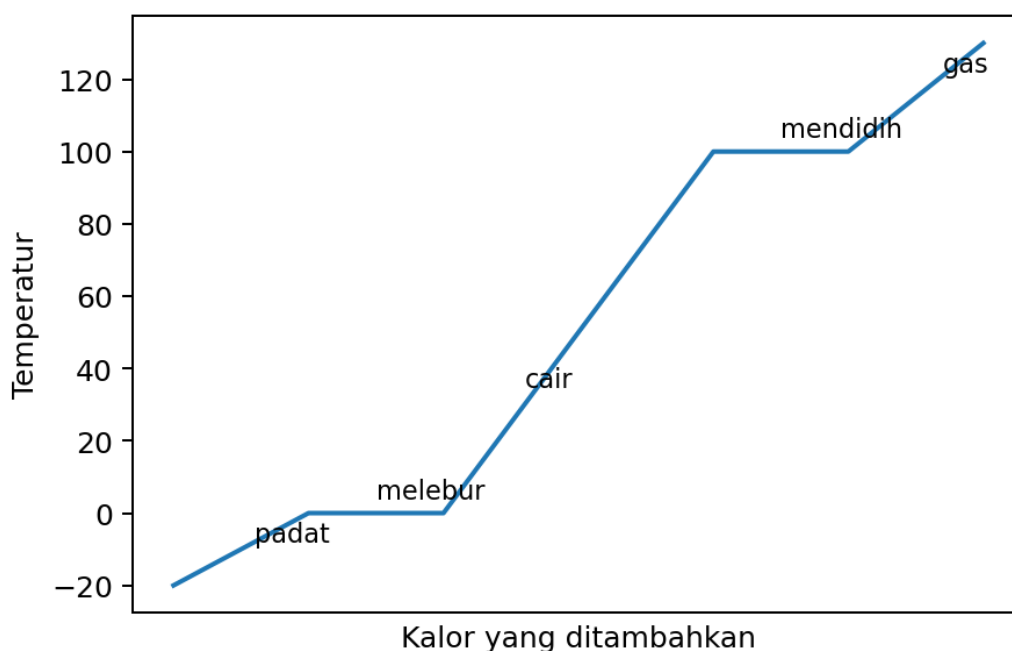
5

BAB 5. SIFAT FASE CAIR DAN PADAT

Fase terkondensasi memiliki interaksi antarmolekul yang jauh lebih kuat daripada gas. Sifat termal, perubahan fase, tekanan uap, dan struktur memberikan jembatan antara termodinamika dan struktur molekul.

5.0 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. menjelaskan konsep inti yang membentuk cairan dan padatan secara konsisten dengan definisi termodinamika dan kimia fisika;
2. menggunakan persamaan dasar dengan satuan yang benar serta menyatakan asumsi dan kendala proses;
3. menafsirkan grafik, tabel, dan hasil perhitungan dari sudut pandang fisik, bukan hanya aljabar;
4. menganalisis keterbatasan model ideal dan menghubungkannya dengan perilaku sistem nyata;
5. menyelesaikan soal konseptual dan numerik secara bertahap dengan pemeriksaan dimensi dan kewajaran hasil.



Gambar 5.1. Ilustrasi konseptual untuk cairan dan padatan.

5.1 FASE TERKONDENSASI

Cairan dan padatan disebut fase terkondensasi karena partikel-partikelnya berjarak dekat. Cairan dapat mengalir dan tidak memiliki bentuk tetap, sedangkan padatan mempertahankan bentuk karena keteraturan atau kekakuan jaringan partikel. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, fase terkondensasi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, fase terkondensasi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang

hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas fase terkondensasi, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

5.2 PEMUAIAN TERMAL DAN KOMPRESIBILITAS

Koefisien muai termal mengukur perubahan relatif volume akibat perubahan temperatur, sedangkan kompresibilitas isothermal mengukur respons volume terhadap tekanan. Kedua besaran merupakan turunan sifat keadaan. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, pemuaian termal dan kompresibilitas harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\alpha = (1/V)(\partial V/\partial T)_p$; $\kappa_T = -(1/V)(\partial V/\partial p)_T$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, pemuaian termal dan kompresibilitas menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\alpha = (1/V)(\partial V/\partial T)_p; \kappa_T = -(1/V)(\partial V/\partial p)_T$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas pemuaian termal dan kompresibilitas. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

5.3 ENTALPI PELEBURAN, PENGUAPAN, DAN SUBLIMASI

Perubahan fase memerlukan atau melepaskan energi karena susunan dan interaksi antarmolekul berubah. Entalpi penguapan umumnya lebih besar daripada entalpi peleburan karena pemisahan molekul pada fase gas jauh lebih besar. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta H_{\text{sub}} \approx \Delta H_{\text{fus}} + \Delta H_{\text{vap}}$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip

menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta H_{\text{sub}} \approx \Delta H_{\text{fus}} + \Delta H_{\text{vap}}$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

5.3.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah

memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

5.4 TEKATAN UAP

Tekanan uap adalah tekanan kesetimbangan uap di atas fase terkondensasi pada temperatur tertentu. Kenaikan temperatur meningkatkan tekanan uap karena fraksi molekul yang mampu lolos dari fase terkondensasi bertambah. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, tekanan uap harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $d \ln p/dT = \Delta H_{\text{vap}}/(RT^2)$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, tekanan uap menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$d \ln p/dT = \Delta H_{\text{vap}}/(RT^2)$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas tekanan uap. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

5.5 SIFAT KHAS CAIRAN

Tegangan permukaan, viskositas, kapilaritas, dan difusi dipengaruhi oleh gaya antarmolekul dan struktur lokal. Perubahan temperatur biasanya menurunkan viskositas cairan dan tegangan permukaan. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, sifat khas cairan harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, sifat khas cairan menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas sifat khas cairan, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

5.6 PERBANDINGAN STRUKTUR PADAT, CAIR, DAN GAS

Padatan memiliki keteraturan posisi yang tinggi, cairan memiliki keteraturan jarak dekat tetapi tidak jarak jauh, sedangkan gas hampir tidak mempunyai korelasi posisi pada kerapatan rendah. Perbedaan struktur ini menjelaskan respons mekanik dan termal yang berbeda. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, perbandingan struktur padat, cair, dan gas harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi

merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, perbandingan struktur padat, cair, dan gas menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

5.6.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan perbandingan struktur padat, cair, dan gas. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

Tabel 5.1. Besaran dan hubungan kunci pada Bab 5.

Sifat	Simbol	Satuan	Interpretasi
Koefisien muai volume	α	K^{-1}	sensitivitas volume terhadap T
Kompresibilitas isothermal	κ_T	Pa^{-1}	sensitivitas volume terhadap p
Entalpi penguapan	ΔH_{vap}	$J\ mol^{-1}$	energi untuk cair→gas
Tekanan uap	p_{sat}	Pa	tekanan kesetimbangan uap
Tegangan permukaan	γ	$N\ m^{-1}$	energi permukaan per luas

5.A STUDI KASUS TERPADU

Studi kasus pada bab ini dirancang untuk menghubungkan beberapa subtopik sekaligus. Misalkan sebuah sistem laboratorium dipantau melalui tekanan, temperatur, volume, atau komposisinya sesuai topik cairan dan padatan. Data awal diperoleh dari alat yang memiliki resolusi terbatas. Mahasiswa diminta menentukan model paling sederhana yang sesuai, melakukan perhitungan, lalu menilai apakah hasil masih berada pada domain asumsi model.

Analisis harus dimulai dari identifikasi sistem dan batas. Tuliskan besaran yang bersifat ekstensif dan intensif, kemudian tentukan variabel yang dikendalikan. Setelah persamaan dipilih, semua data dikonversi ke satuan yang konsisten. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan kecenderungan fisis: apakah tekanan seharusnya meningkat atau menurun, apakah energi masuk atau keluar, dan apakah perubahan yang diprediksi realistis terhadap skala eksperimen.

Tahap terakhir adalah evaluasi ketidakpastian dan asumsi. Bila hasil menyimpang dari prediksi, jangan langsung menyebut kesalahan manusia. Tanyakan apakah ada kebocoran, pertukaran kalor, nonidealitas, keterlambatan sensor, perubahan fase, atau asumsi kesetimbangan yang tidak terpenuhi. Pendekatan ini melatih pemikiran kimia fisika yang dapat dipertanggungjawabkan dan dapat diterapkan pada eksperimen maupun simulasi.

CONTOH SOAL TERBIMBING

Contoh 1. Cairan 1,000 L memiliki koefisien muai volume $1,0 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Perkirakan perubahan volume untuk kenaikan 20 K.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $\Delta V \approx \alpha V \Delta T = (1,0 \times 10^{-3})(1,000 \text{ L})(20) = 0,020 \text{ L}$, sehingga volume akhir sekitar 1,020 L. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 2. Suatu cairan memiliki $\kappa_T = 5,0 \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$. Berapa perubahan relatif volume jika tekanan naik 20 MPa?

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $\Delta V/V \approx -\kappa_T \Delta p = -(5,0 \times 10^{-10})(20 \times 10^6) = -0,010$. Volume berkurang sekitar 1,0%. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir

bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 3. Berapa energi yang diperlukan untuk menguapkan 2,00 mol zat dengan $\Delta H_{\text{vap}} = 35,0 \text{ kJ mol}^{-1}$ pada titik didihnya?

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $q = n\Delta H_{\text{vap}} = 2,00 \times 35,0 = 70,0 \text{ kJ}$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 4. Dengan $\Delta H_{\text{vap}} \text{ air} \approx 40,7 \text{ kJ mol}^{-1}$ dan $p = 1 \text{ atm}$ pada 373,15 K, estimasi p pada 350 K menggunakan bentuk terintegrasi Clausius-Clapeyron.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $\ln(P_2/P_1) = -(\Delta H/R)(1/T_2 - 1/T_1)$. Substitusi memberi $P_2 \approx 0.420 \text{ atm}$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 5. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan sifat khas cairan. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Tegangan permukaan, viskositas, kapilaritas, dan difusi dipengaruhi oleh gaya antarmolekul dan struktur lokal. Perubahan temperatur biasanya menurunkan viskositas cairan dan tegangan permukaan. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada sifat khas cairan dan pada tema bab, yaitu respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 6. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan perbandingan struktur padat, cair, dan gas. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Padatan memiliki keteraturan posisi yang tinggi, cairan memiliki keteraturan jarak dekat tetapi tidak jarak jauh, sedangkan gas hampir tidak mempunyai korelasi posisi pada kerapatan rendah. Perbedaan struktur ini menjelaskan respons mekanik dan termal yang berbeda. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang

bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada perbandingan struktur padat, cair, dan gas dan pada tema bab, yaitu respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 7. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan fase terkondensasi. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Cairan dan padatan disebut fase terkondensasi karena partikel-partikelnya berjarak dekat. Cairan dapat mengalir dan tidak memiliki bentuk tetap, sedangkan padatan mempertahankan bentuk karena keteraturan atau kekakuan jaringan partikel. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan

menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada fase terkondensasi dan pada tema bab, yaitu respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 8. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan pemuaian termal dan kompresibilitas. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Koefisien muai termal mengukur perubahan relatif volume akibat perubahan temperatur, sedangkan kompresibilitas isothermal mengukur respons volume terhadap tekanan. Kedua besaran merupakan turunan sifat keadaan. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $\alpha = (1/V)(\partial V/\partial T)_p$; $\kappa_T = -(1/V)(\partial V/\partial p)_T$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada pemuaian termal dan kompresibilitas dan pada tema bab, yaitu respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 9. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Perubahan fase memerlukan atau melepaskan energi karena susunan dan interaksi antarmolekul berubah. Entalpi penguapan umumnya lebih besar daripada entalpi peleburan karena pemisahan molekul pada fase gas jauh lebih besar. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $\Delta H_{\text{sub}} \approx \Delta H_{\text{fus}} + \Delta H_{\text{vap}}$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi dan pada tema bab, yaitu respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 10. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan tekanan uap. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Tekanan uap adalah tekanan kesetimbangan uap di atas fase terkondensasi pada temperatur tertentu. Kenaikan temperatur meningkatkan tekanan uap karena fraksi molekul yang mampu lolos dari fase terkondensasi bertambah. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung

merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $d \ln p/dT = \Delta H_{\text{vap}}/(RT^2)$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada tekanan uap dan pada tema bab, yaitu respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 11. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan sifat khas cairan. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Tegangan permukaan, viskositas, kapilaritas, dan difusi dipengaruhi oleh gaya antarmolekul dan struktur lokal. Perubahan temperatur biasanya menurunkan viskositas cairan dan tegangan permukaan. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran

acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada sifat khas cairan dan pada tema bab, yaitu respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 12. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan perbandingan struktur padat, cair, dan gas. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Padatan memiliki keteraturan posisi yang tinggi, cairan memiliki keteraturan jarak dekat tetapi tidak jarak jauh, sedangkan gas hampir tidak mempunyai korelasi posisi pada kerapatan rendah. Perbedaan struktur ini menjelaskan respons mekanik dan termal yang berbeda. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada perbandingan struktur padat, cair, dan gas dan pada tema bab, yaitu respons fase terkondensasi terhadap temperatur, tekanan, dan perubahan fase. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

5.B RANGKUMAN

1. Cairan dan padatan disebut fase terkondensasi karena partikel-partikelnya berjarak dekat.
2. Koefisien muai termal mengukur perubahan relatif volume akibat perubahan temperatur, sedangkan kompresibilitas isothermal mengukur respons volume terhadap tekanan.
3. Perubahan fase memerlukan atau melepaskan energi karena susunan dan interaksi antarmolekul berubah.
4. Tekanan uap adalah tekanan kesetimbangan uap di atas fase terkondensasi pada temperatur tertentu.
5. Tegangan permukaan, viskositas, kapilaritas, dan difusi dipengaruhi oleh gaya antarmolekul dan struktur lokal.
6. Padatan memiliki keteraturan posisi yang tinggi, cairan memiliki keteraturan jarak dekat tetapi tidak jarak jauh, sedangkan gas hampir tidak mempunyai korelasi posisi pada kerapatan rendah.

LATIHAN BAB

1. Jelaskan konsep fase terkondensasi dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
2. Bandingkan pemuaian termal dan kompresibilitas dengan entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
3. Interpretasikan persamaan $\Delta H_{\text{sub}} \approx \Delta H_{\text{fus}} + \Delta H_{\text{vap}}$ pada konteks entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
4. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian tekanan uap. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
5. Jelaskan konsep sifat khas cairan dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
6. Bandingkan perbandingan struktur padat, cair, dan gas dengan fase terkondensasi. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
7. Susun skema atau grafik kualitatif yang dapat digunakan untuk menguji fase terkondensasi secara eksperimen. Jelaskan sumbu, variabel kontrol, dan bentuk data yang diharapkan.

8. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian pemuaian termal dan kompresibilitas. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
9. Jelaskan konsep entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
10. Bandingkan tekanan uap dengan sifat khas cairan. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
11. Susun skema atau grafik kualitatif yang dapat digunakan untuk menguji sifat khas cairan secara eksperimen. Jelaskan sumbu, variabel kontrol, dan bentuk data yang diharapkan.
12. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian perbandingan struktur padat, cair, dan gas. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
13. Jelaskan konsep fase terkondensasi dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
14. Bandingkan pemuaian termal dan kompresibilitas dengan entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
15. Interpretasikan persamaan $\Delta H_{\text{sub}} \approx \Delta H_{\text{fus}} + \Delta H_{\text{vap}}$ pada konteks entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
16. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian tekanan uap. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
17. Cairan 1,000 L memiliki koefisien muai volume $1,0 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Perkirakan perubahan volume untuk kenaikan 20 K.
18. Suatu cairan memiliki $\kappa_T = 5,0 \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$. Berapa perubahan relatif volume jika tekanan naik 20 MPa?
19. Berapa energi yang diperlukan untuk menguapkan 2,00 mol zat dengan $\Delta H_{\text{vap}} = 35,0 \text{ kJ mol}^{-1}$ pada titik didihnya?
20. Dengan $\Delta H_{\text{vap air}} \approx 40,7 \text{ kJ mol}^{-1}$ dan $p = 1 \text{ atm}$ pada 373,15 K, estimasi p pada 350 K menggunakan bentuk terintegrasi Clausius-Clapeyron.

JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB

1. Langkah 1 - identifikasi konsep: Cairan dan padatan disebut fase terkondensasi karena partikel-partikelnya berjarak dekat. Cairan dapat mengalir dan tidak memiliki bentuk tetap, sedangkan padatan mempertahankan bentuk karena keteraturan atau kekakuan jaringan partikel. Langkah 2 - tentukan besaran dan

kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

- Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Koefisien muai termal mengukur perubahan relatif volume akibat perubahan temperatur, sedangkan kompresibilitas isothermal mengukur respons volume terhadap tekanan. Kedua besaran merupakan turunan sifat keadaan. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Perubahan fase memerlukan atau melepaskan energi karena susunan dan interaksi antarmolekul berubah. Entalpi penguapan umumnya lebih besar daripada entalpi peleburan karena pemisahan molekul pada fase gas jauh lebih besar. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

- Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $\Delta H_{\text{sub}} \approx \Delta H_{\text{fus}} + \Delta H_{\text{vap}}$ berlaku sebagai representasi entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

- Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada tekanan uap. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Tekanan uap adalah tekanan kesetimbangan uap di atas fase terkondensasi pada temperatur tertentu. Kenaikan temperatur meningkatkan tekanan uap karena fraksi molekul yang mampu lolos dari fase terkondensasi bertambah.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

5. Langkah 1 - identifikasi konsep: Tegangan permukaan, viskositas, kapilaritas, dan difusi dipengaruhi oleh gaya antarmolekul dan struktur lokal. Perubahan temperatur biasanya menurunkan viskositas cairan dan tegangan permukaan. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

6. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Padatan memiliki keteraturan posisi yang tinggi, cairan memiliki keteraturan jarak dekat tetapi tidak jarak jauh, sedangkan gas hampir tidak mempunyai korelasi posisi pada kerapatan rendah. Perbedaan struktur ini menjelaskan respons mekanik dan termal yang berbeda. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Cairan dan padatan disebut fase terkondensasi karena partikel-partikelnya berjarak dekat. Cairan dapat mengalir dan tidak memiliki bentuk tetap, sedangkan padatan mempertahankan bentuk karena keteraturan atau kekakuan jaringan partikel. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

7. Langkah 1 - pilih satu variabel bebas yang dapat diubah secara terkontrol dan satu variabel respons. Langkah 2 - tahan faktor lain yang dapat mengacaukan interpretasi. Langkah 3 - buat grafik dan bandingkan bentuknya dengan prediksi konsep. Berdasarkan uraian inti, Cairan dan padatan disebut fase terkondensasi karena partikel-partikelnya berjarak dekat. Cairan dapat mengalir dan tidak memiliki bentuk tetap, sedangkan padatan mempertahankan bentuk karena keteraturan atau kekakuan jaringan partikel. Penyimpangan harus dianalisis sebagai kemungkinan nonidealitas atau ketidakpastian, bukan langsung dibuang.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

8. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada pemuaian termal dan kompresibilitas. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Koefisien muai termal mengukur perubahan relatif volume akibat perubahan temperatur, sedangkan kompresibilitas isothermal mengukur respons volume terhadap tekanan. Kedua besaran merupakan turunan sifat keadaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

9. Langkah 1 - identifikasi konsep: Perubahan fase memerlukan atau melepaskan energi karena susunan dan interaksi antarmolekul berubah. Entalpi penguapan umumnya lebih besar daripada entalpi peleburan karena pemisahan molekul pada fase gas jauh lebih besar. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

10. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Tekanan uap adalah tekanan kesetimbangan uap di atas fase terkondensasi pada temperatur tertentu. Kenaikan temperatur meningkatkan tekanan uap karena fraksi molekul yang mampu lolos dari fase terkondensasi bertambah. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Tegangan permukaan, viskositas, kapilaritas, dan difusi dipengaruhi oleh gaya antarmolekul dan struktur lokal. Perubahan temperatur biasanya menurunkan viskositas cairan dan tegangan permukaan. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

11. Langkah 1 - pilih satu variabel bebas yang dapat diubah secara terkontrol dan satu variabel respons. Langkah 2 - tahan faktor lain yang dapat mengacaukan interpretasi. Langkah 3 - buat grafik dan bandingkan bentuknya dengan prediksi konsep. Berdasarkan uraian inti, Tegangan permukaan, viskositas, kapilaritas, dan difusi dipengaruhi oleh gaya antarmolekul dan struktur lokal. Perubahan

temperatur biasanya menurunkan viskositas cairan dan tegangan permukaan. Penyimpangan harus dianalisis sebagai kemungkinan nonidealitas atau ketidakpastian, bukan langsung dibuang.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

12. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada perbandingan struktur padat, cair, dan gas. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Padatan memiliki keteraturan posisi yang tinggi, cairan memiliki keteraturan jarak dekat tetapi tidak jarak jauh, sedangkan gas hampir tidak mempunyai korelasi posisi pada kerapatan rendah. Perbedaan struktur ini menjelaskan respons mekanik dan termal yang berbeda.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

13. Langkah 1 - identifikasi konsep: Cairan dan padatan disebut fase terkondensasi karena partikel-partikelnya berjarak dekat. Cairan dapat mengalir dan tidak memiliki bentuk tetap, sedangkan padatan mempertahankan bentuk karena keteraturan atau kekakuan jaringan partikel. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

14. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Koefisien muai termal mengukur perubahan relatif volume akibat perubahan temperatur, sedangkan kompresibilitas isothermal mengukur respons volume terhadap tekanan. Kedua besaran merupakan turunan sifat keadaan. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Perubahan fase memerlukan atau melepaskan energi karena susunan dan interaksi antarmolekul berubah. Entalpi penguapan umumnya lebih besar daripada entalpi peleburan karena pemisahan molekul pada fase gas jauh lebih besar. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

15. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $\Delta H_{\text{sub}} \approx \Delta H_{\text{fus}} + \Delta H_{\text{vap}}$ berlaku sebagai representasi entalpi peleburan, penguapan, dan sublimasi di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

16. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada tekanan uap. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Tekanan uap adalah tekanan kesetimbangan uap di atas fase terkondensasi pada temperatur tertentu. Kenaikan temperatur meningkatkan tekanan uap karena fraksi molekul yang mampu lolos dari fase terkondensasi bertambah.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

17. $\Delta V \approx \alpha V \Delta T = (1,0 \times 10^{-3})(1,000 \text{ L})(20) = 0,020 \text{ L}$, sehingga volume akhir sekitar 1,020 L.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

18. $\Delta V/V \approx -\kappa_T \Delta p = -(5,0 \times 10^{-10})(20 \times 10^6) = -0,010$. Volume berkurang sekitar 1,0%.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

19. $q = n \Delta H_{\text{vap}} = 2,00 \times 35,0 = 70,0 \text{ kJ}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

20. $\ln(P_2/P_1) = -(\Delta H/R)(1/T_2 - 1/T_1)$. Substitusi memberi $P_2 \approx 0.420 \text{ atm}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

SOAL PENGEMBANGAN

1. Rancang eksperimen atau simulasi sederhana untuk menguji salah satu hubungan utama pada Bab 5. Tentukan variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, dan kriteria kualitas data.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

2. Pilih dua subbab pada Bab 5 yang tampak terpisah. Tunjukkan hubungan konseptual atau matematis di antara keduanya dengan diagram alur dan penjelasan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

3. Cari satu kondisi ketika model sederhana pada bab ini tidak lagi memadai. Jelaskan gejala penyimpangannya dan jenis model atau koreksi yang diperlukan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

4. Susun satu masalah terbuka yang memiliki lebih dari satu cara penyelesaian. Bandingkan kelebihan dan keterbatasan tiap cara dari sisi data yang dibutuhkan dan asumsi.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

5. Buat peta konsep satu halaman yang menghubungkan definisi, persamaan, grafik, contoh eksperimen, dan sumber ketidakpastian utama pada bab ini.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

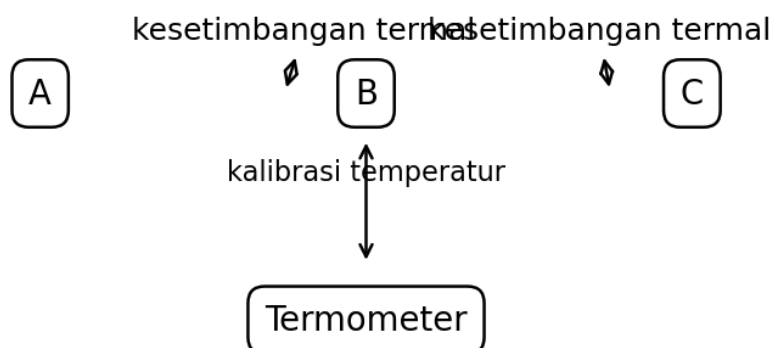
6

BAB 6. HUKUM-HUKUM TERMODINAMIKA: GAMBARAN UMUM DAN HUKUM KE-NOL

Termodinamika menetapkan aturan umum untuk energi, arah proses, dan kesetimbangan. Hukum ke-nol memberikan dasar konseptual bagi temperatur, sedangkan hukum pertama dan kedua mengatur konservasi energi dan arah perubahan spontan.

6.0 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. menjelaskan konsep inti yang membentuk hukum termodinamika secara konsisten dengan definisi termodinamika dan kimia fisika;
2. menggunakan persamaan dasar dengan satuan yang benar serta menyatakan asumsi dan kendala proses;
3. menafsirkan grafik, tabel, dan hasil perhitungan dari sudut pandang fisik, bukan hanya aljabar;
4. menganalisis keterbatasan model ideal dan menghubungkannya dengan perilaku sistem nyata;
5. menyelesaikan soal konseptual dan numerik secara bertahap dengan pemeriksaan dimensi dan kewajaran hasil.



Gambar 6.1. Ilustrasi konseptual untuk hukum termodinamika.

6.1 BENTUK ENERGI DAN GAMBARAN HUKUM PERTAMA

Energi dapat muncul sebagai energi kinetik, potensial, kimia, listrik, dan bentuk mikroskopik lain. Hukum pertama menyatakan konservasi energi: perubahan energi sistem ditentukan oleh energi yang melintasi batas sebagai kalor dan kerja. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, bentuk energi dan gambaran hukum pertama harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta U = q + w$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, bentuk energi dan gambaran hukum pertama menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang

perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta U = q + w$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas bentuk energi dan gambaran hukum pertama. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas bentuk energi dan gambaran hukum pertama, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

6.2 BATAS KONVERSI ANTAR BENTUK ENERGI

Meskipun energi total kekal, tidak semua energi dapat dikonversi sepenuhnya menjadi kerja dalam proses siklik. Pengalaman empiris menunjukkan adanya arah alami perubahan dan degradasi kualitas energi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, batas konversi antar bentuk energi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak

terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, batas konversi antar bentuk energi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

6.3 GAMBARAN HUKUM KEDUA

Hukum kedua menyatakan keterbatasan arah proses spontan dan efisiensi mesin kalor. Hukum ini memperkenalkan entropi sebagai fungsi keadaan yang menentukan kecenderungan perubahan pada sistem terisolasi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, gambaran hukum kedua harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta S_{\text{univ}} \geq 0$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, gambaran hukum kedua menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta S_{\text{univ}} \geq 0$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas gambaran hukum kedua. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas gambaran hukum kedua, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

6.3.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan gambaran hukum kedua. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

6.4 HUKUM KE-NOL TERMODINAMIKA

Jika sistem A berada dalam kesetimbangan termal dengan B, dan B berada dalam kesetimbangan termal dengan C, maka A dan C juga berada dalam kesetimbangan termal. Sifat transitif ini memungkinkan definisi temperatur. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, hukum ke-nol termodinamika harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $T_A = T_B$ dan $T_B = T_C \Rightarrow T_A = T_C$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang

tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, hukum ke-nol termodinamika menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$T_A = T_B \text{ dan } T_B = T_C \Rightarrow T_A = T_C$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas hukum ke-nol termodinamika. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

6.5 TERMOMETRI DAN SKALA TEMPERATUR

Termometer menggunakan sifat termometrik yang berubah secara monoton dengan temperatur. Kalibrasi menghubungkan sifat tersebut dengan skala temperatur, sedangkan skala Kelvin merupakan skala termodinamik absolut. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, termometri dan skala temperatur harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $T/K = t/^{\circ}\text{C} + 273,15$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan

sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, termometri dan skala temperatur menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$T/K = t/^{\circ}\text{C} + 273,15$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas termometri dan skala temperatur. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas termometri dan skala temperatur, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

Tabel 6.1. Besaran dan hubungan kunci pada Bab 6.

Konsep	Pernyataan ringkas	Konsekuensi
Hukum ke-nol	kesetimbangan termal bersifat transitif	temperatur dapat didefinisikan
Hukum pertama	energi kekal	$\Delta U = q + w$
Hukum kedua	proses alami memiliki arah	entropi semesta tidak berkurang
Temperatur absolut	skala termodinamik	0 K sebagai batas bawah ideal

6.A STUDI KASUS TERPADU

Studi kasus pada bab ini dirancang untuk menghubungkan beberapa subtopik sekaligus. Misalkan sebuah sistem laboratorium dipantau melalui tekanan, temperatur, volume, atau komposisinya sesuai topik hukum termodinamika. Data awal diperoleh dari alat yang memiliki resolusi terbatas. Mahasiswa diminta menentukan model paling sederhana yang sesuai, melakukan perhitungan, lalu menilai apakah hasil masih berada pada domain asumsi model.

Analisis harus dimulai dari identifikasi sistem dan batas. Tuliskan besaran yang bersifat ekstensif dan intensif, kemudian tentukan variabel yang dikendalikan. Setelah persamaan dipilih, semua data dikonversi ke satuan yang konsisten. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan kecenderungan fisis: apakah tekanan seharusnya meningkat atau menurun, apakah energi masuk atau keluar, dan apakah perubahan yang diprediksi realistis terhadap skala eksperimen.

Tahap terakhir adalah evaluasi ketidakpastian dan asumsi. Bila hasil menyimpang dari prediksi, jangan langsung menyebut kesalahan manusia. Tanyakan apakah ada kebocoran, pertukaran kalor, nonidealitas, keterlambatan sensor, perubahan fase, atau asumsi kesetimbangan yang tidak terpenuhi. Pendekatan ini melatih pemikiran kimia fisika yang dapat dipertanggungjawabkan dan dapat diterapkan pada eksperimen maupun simulasi.

CONTOH SOAL TERBIMBING

Contoh 1. Sistem menerima kalor 500 J dan melakukan kerja 120 J pada lingkungan. Dengan konvensi w positif jika kerja dilakukan pada sistem, hitung ΔU .

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. Karena sistem melakukan kerja, $w = -120$ J. Maka $\Delta U = q + w = 500 - 120 = 380$ J. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir

bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 2. Ubah 25,00 °C menjadi Kelvin.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $T = 25,00 + 273,15 = 298,15$ K. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 3. Termometer linier memberi sinyal 2,00 V pada 0 °C dan 6,00 V pada 100 °C. Berapa suhu saat sinyal 3,20 V?

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. Fraksi skala = $(3,20 - 2,00) / (6,00 - 2,00) = 0,300$. Suhu = $0 + 0,300 \times 100 = 30,0$ °C. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 4. Benda A dan B masing-masing menunjukkan 310 K ketika diukur dengan termometer yang sama dan telah mencapai keadaan tunak. Apa yang dapat disimpulkan?

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. Menurut hukum ke-nol, karena keduanya setimbang termal dengan termometer pada temperatur sama, A dan B berada pada temperatur yang sama dan tidak ada aliran kalor bersih bila keduanya dikontakkan secara termal. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 5. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan termometri dan skala temperatur. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematik, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Termometer menggunakan sifat termometrik yang berubah secara monoton dengan temperatur. Kalibrasi menghubungkan sifat tersebut dengan skala temperatur, sedangkan skala Kelvin merupakan skala termodinamik absolut. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $T/K = t/^{\circ}\text{C} + 273,15$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai.

Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada termometri dan skala temperatur dan pada tema bab, yaitu kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 6. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan bentuk energi dan gambaran hukum pertama. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Energi dapat muncul sebagai energi kinetik, potensial, kimia, listrik, dan bentuk mikroskopik lain. Hukum pertama menyatakan konservasi energi: perubahan energi sistem ditentukan oleh energi yang melintasi batas sebagai kalor dan kerja. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $\Delta U = q + w$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada bentuk energi dan gambaran hukum pertama dan pada tema bab, yaitu kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 7. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan batas konversi antar bentuk energi. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Meskipun energi total kekal, tidak semua energi dapat dikonversi sepenuhnya menjadi kerja dalam proses siklik. Pengalaman empiris menunjukkan adanya arah alami perubahan dan degradasi kualitas energi. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada batas konversi antar bentuk energi dan pada tema bab, yaitu kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 8. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan gambaran hukum kedua. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Hukum kedua menyatakan keterbatasan arah proses spontan dan efisiensi mesin kalor. Hukum ini memperkenalkan entropi sebagai fungsi keadaan yang menentukan kecenderungan perubahan pada sistem terisolasi. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $\Delta S_{\text{univ}} \geq 0$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada gambaran hukum kedua dan pada tema bab, yaitu kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 9. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan hukum ke-nol termodinamika. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Jika sistem A berada dalam kesetimbangan termal dengan B, dan B berada dalam kesetimbangan termal dengan C, maka A dan C juga berada dalam kesetimbangan termal. Sifat transitif ini memungkinkan definisi temperatur. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $T_A = T_B$ dan $T_B = T_C \Rightarrow T_A = T_C$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih

dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada hukum ke-nol termodinamika dan pada tema bab, yaitu kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 10. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan termometri dan skala temperatur. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Termometer menggunakan sifat termometrik yang berubah secara monoton dengan temperatur. Kalibrasi menghubungkan sifat tersebut dengan skala temperatur, sedangkan skala Kelvin merupakan skala termodinamik absolut. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $T/K = t/^{\circ}\text{C} + 273,15$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada termometri dan skala temperatur dan pada tema bab, yaitu kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 11. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan bentuk energi dan gambaran hukum pertama. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Energi dapat muncul sebagai energi kinetik, potensial, kimia, listrik, dan bentuk mikroskopik lain. Hukum pertama menyatakan konservasi energi: perubahan energi sistem ditentukan oleh energi yang melintasi batas sebagai kalor dan kerja. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $\Delta U = q + w$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada bentuk energi dan gambaran hukum pertama dan pada tema bab, yaitu kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 12. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan batas konversi antar bentuk energi. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Meskipun energi total kekal, tidak semua energi dapat dikonversi sepenuhnya menjadi kerja dalam proses siklik. Pengalaman empiris menunjukkan adanya arah alami perubahan dan degradasi kualitas energi. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada batas konversi antar bentuk energi dan pada tema bab, yaitu kerangka hukum umum bagi temperatur, energi, dan arah proses. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

6.B RANGKUMAN

1. Energi dapat muncul sebagai energi kinetik, potensial, kimia, listrik, dan bentuk mikroskopik lain.
2. Meskipun energi total kekal, tidak semua energi dapat dikonversi sepenuhnya menjadi kerja dalam proses siklik.
3. Hukum kedua menyatakan keterbatasan arah proses spontan dan efisiensi mesin kalor.
4. Jika sistem A berada dalam kesetimbangan termal dengan B, dan B berada dalam kesetimbangan termal dengan C, maka A dan C juga berada dalam kesetimbangan termal.
5. Termometer menggunakan sifat termometrik yang berubah secara monoton dengan temperatur.

LATIHAN BAB

1. Jelaskan konsep bentuk energi dan gambaran hukum pertama dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
2. Bandingkan batas konversi antar bentuk energi dengan gambaran hukum kedua. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
3. Interpretasikan persamaan $\Delta S_{\text{univ}} \geq 0$ pada konteks gambaran hukum kedua. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
4. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian hukum ke-nol termodinamika. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
5. Jelaskan konsep termometri dan skala temperatur dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
6. Bandingkan bentuk energi dan gambaran hukum pertama dengan batas konversi antar bentuk energi. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
7. Susun skema atau grafik kualitatif yang dapat digunakan untuk menguji batas konversi antar bentuk energi secara eksperimen. Jelaskan sumbu, variabel kontrol, dan bentuk data yang diharapkan.
8. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian gambaran hukum kedua. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
9. Jelaskan konsep hukum ke-nol termodinamika dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
10. Bandingkan termometri dan skala temperatur dengan bentuk energi dan gambaran hukum pertama. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
11. Interpretasikan persamaan $\Delta U = q + w$ pada konteks bentuk energi dan gambaran hukum pertama. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
12. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian batas konversi antar bentuk energi. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
13. Jelaskan konsep gambaran hukum kedua dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
14. Bandingkan hukum ke-nol termodinamika dengan termometri dan skala temperatur. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?

15. Interpretasikan persamaan $T/K = t/^{\circ}\text{C} + 273,15$ pada konteks termometri dan skala temperatur. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
16. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian bentuk energi dan gambaran hukum pertama. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
17. Sistem menerima kalor 500 J dan melakukan kerja 120 J pada lingkungan. Dengan konvensi w positif jika kerja dilakukan pada sistem, hitung ΔU .
18. Ubah 25,00 $^{\circ}\text{C}$ menjadi Kelvin.
19. Termometer linier memberi sinyal 2,00 V pada 0 $^{\circ}\text{C}$ dan 6,00 V pada 100 $^{\circ}\text{C}$. Berapa suhu saat sinyal 3,20 V?
20. Benda A dan B masing-masing menunjukkan 310 K ketika diukur dengan termometer yang sama dan telah mencapai keadaan tunak. Apa yang dapat disimpulkan?

JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB

1. Langkah 1 - identifikasi konsep: Energi dapat muncul sebagai energi kinetik, potensial, kimia, listrik, dan bentuk mikroskopik lain. Hukum pertama menyatakan konservasi energi: perubahan energi sistem ditentukan oleh energi yang melintasi batas sebagai kalor dan kerja. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

2. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Meskipun energi total kekal, tidak semua energi dapat dikonversi sepenuhnya menjadi kerja dalam proses siklik. Pengalaman empiris menunjukkan adanya arah alami perubahan dan degradasi kualitas energi. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Hukum kedua menyatakan keterbatasan arah proses spontan dan efisiensi mesin kalor. Hukum ini memperkenalkan entropi sebagai fungsi keadaan yang menentukan kecenderungan perubahan pada sistem terisolasi. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

3. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $\Delta S_{\text{univ}} \geq 0$ berlaku sebagai representasi gambaran hukum kedua di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

4. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada hukum ke-nol termodinamika. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Jika sistem A berada dalam kesetimbangan termal dengan B, dan B berada dalam kesetimbangan termal dengan C, maka A dan C juga berada dalam kesetimbangan termal. Sifat transitif ini memungkinkan definisi temperatur.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

5. Langkah 1 - identifikasi konsep: Termometer menggunakan sifat termometrik yang berubah secara monoton dengan temperatur. Kalibrasi menghubungkan sifat tersebut dengan skala temperatur, sedangkan skala Kelvin merupakan skala termodinamik absolut. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

6. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Energi dapat muncul sebagai energi kinetik, potensial, kimia, listrik, dan bentuk mikroskopik lain. Hukum pertama menyatakan konservasi energi: perubahan energi sistem ditentukan oleh energi yang melintasi batas sebagai kalor dan kerja. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Meskipun energi total kekal, tidak semua energi dapat dikonversi sepenuhnya menjadi kerja dalam proses siklik. Pengalaman empiris menunjukkan adanya arah alami perubahan dan degradasi kualitas energi. Langkah 3 - bandingkan:

keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

7. Langkah 1 - pilih satu variabel bebas yang dapat diubah secara terkontrol dan satu variabel respons. Langkah 2 - tahan faktor lain yang dapat mengacaukan interpretasi. Langkah 3 - buat grafik dan bandingkan bentuknya dengan prediksi konsep. Berdasarkan uraian inti, Meskipun energi total kekal, tidak semua energi dapat dikonversi sepenuhnya menjadi kerja dalam proses siklik. Pengalaman empiris menunjukkan adanya arah alami perubahan dan degradasi kualitas energi. Penyimpangan harus dianalisis sebagai kemungkinan nonidealitas atau ketidakpastian, bukan langsung dibuang.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

8. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada gambaran hukum kedua. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Hukum kedua menyatakan keterbatasan arah proses spontan dan efisiensi mesin kalor. Hukum ini memperkenalkan entropi sebagai fungsi keadaan yang menentukan kecenderungan perubahan pada sistem terisolasi.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

9. Langkah 1 - identifikasi konsep: Jika sistem A berada dalam kesetimbangan termal dengan B, dan B berada dalam kesetimbangan termal dengan C, maka A dan C juga berada dalam kesetimbangan termal. Sifat transitif ini memungkinkan definisi temperatur. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

10. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Termometer menggunakan sifat termometrik yang berubah secara monoton dengan temperatur. Kalibrasi menghubungkan sifat tersebut dengan skala temperatur, sedangkan skala Kelvin merupakan skala termodinamik absolut. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Energi dapat muncul sebagai energi kinetik, potensial, kimia, listrik, dan bentuk mikroskopik lain. Hukum pertama menyatakan konservasi energi: perubahan energi sistem ditentukan oleh energi yang melintasi batas sebagai kalor dan kerja. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

11. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $\Delta U = q + w$ berlaku sebagai representasi bentuk energi dan gambaran hukum pertama di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

12. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada batas konversi antar bentuk energi. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Meskipun energi total kekal, tidak semua energi dapat dikonversi sepenuhnya menjadi kerja dalam proses siklik. Pengalaman empiris menunjukkan adanya arah alami perubahan dan degradasi kualitas energi.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

13. Langkah 1 - identifikasi konsep: Hukum kedua menyatakan keterbatasan arah proses spontan dan efisiensi mesin kalor. Hukum ini memperkenalkan entropi sebagai fungsi keadaan yang menentukan kecenderungan perubahan pada sistem terisolasi. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

14. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Jika sistem A berada dalam kesetimbangan termal dengan B, dan B berada dalam kesetimbangan termal dengan C, maka A dan C juga berada dalam kesetimbangan termal. Sifat transitif ini memungkinkan definisi temperatur. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Termometer menggunakan sifat termometrik yang berubah secara monoton dengan temperatur. Kalibrasi menghubungkan sifat tersebut dengan skala temperatur, sedangkan skala Kelvin merupakan skala termodinamik absolut. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

15. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $T/K = t/^{\circ}C + 273,15$ berlaku sebagai representasi termometri dan skala temperatur di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

16. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada bentuk energi dan gambaran hukum pertama. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Energi dapat muncul sebagai energi kinetik, potensial, kimia, listrik, dan bentuk mikroskopik lain. Hukum pertama menyatakan konservasi energi: perubahan energi sistem ditentukan oleh energi yang melintasi batas sebagai kalor dan kerja.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

17. Karena sistem melakukan kerja, $w = -120 \text{ J}$. Maka $\Delta U = q + w = 500 - 120 = 380 \text{ J}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

18. $T = 25,00 + 273,15 = 298,15 \text{ K}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

19. Fraksi skala $= (3,20 - 2,00) / (6,00 - 2,00) = 0,300$. Suhu $= 0 + 0,300 \times 100 = 30,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

20. Menurut hukum ke-nol, karena keduanya setimbang termal dengan termometer pada temperatur sama, A dan B berada pada temperatur yang sama dan tidak ada aliran kalor bersih bila keduanya dikontakkan secara termal.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

SOAL PENGEMBANGAN

1. Rancang eksperimen atau simulasi sederhana untuk menguji salah satu hubungan utama pada Bab 6. Tentukan variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, dan kriteria kualitas data.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

2. Pilih dua subbab pada Bab 6 yang tampak terpisah. Tunjukkan hubungan konseptual atau matematis di antara keduanya dengan diagram alur dan penjelasan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

3. Cari satu kondisi ketika model sederhana pada bab ini tidak lagi memadai. Jelaskan gejala penyimpangannya dan jenis model atau koreksi yang diperlukan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

4. Susun satu masalah terbuka yang memiliki lebih dari satu cara penyelesaian. Bandingkan kelebihan dan keterbatasan tiap cara dari sisi data yang dibutuhkan dan asumsi.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

5. Buat peta konsep satu halaman yang menghubungkan definisi, persamaan, grafik, contoh eksperimen, dan sumber ketidakpastian utama pada bab ini.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

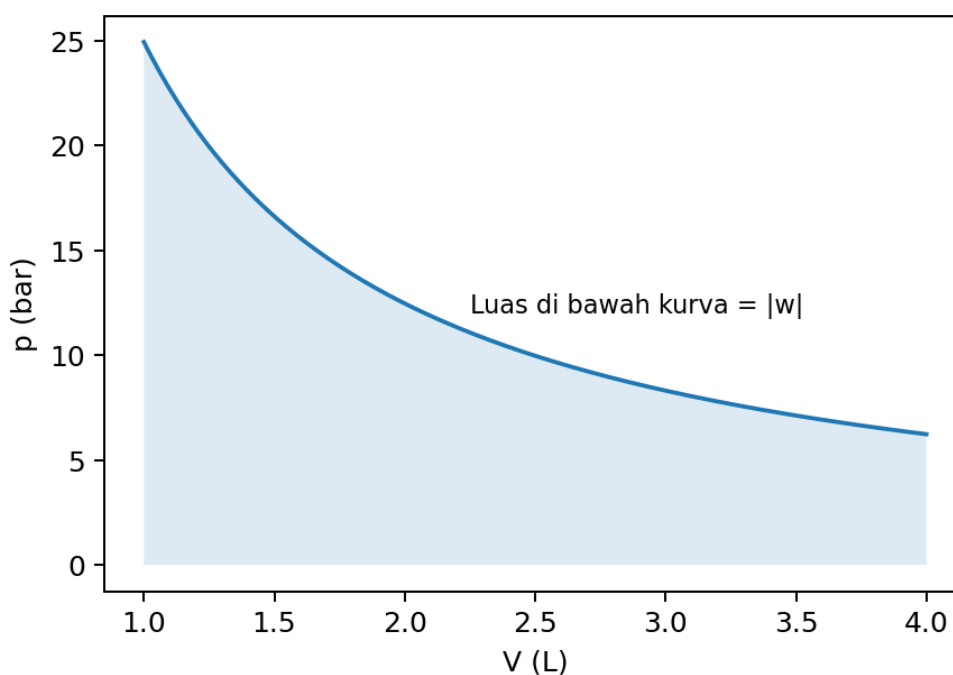
7

BAB 7. ENERGI, HUKUM PERTAMA, DAN TERMOKIMIA

Hukum pertama menyediakan neraca energi bagi proses fisika dan reaksi kimia. Dengan membedakan fungsi keadaan dari besaran lintasan, kita dapat menghitung energi dalam, entalpi, kalor reaksi, dan kerja pada berbagai kendala.

7.0 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. menjelaskan konsep inti yang membentuk hukum pertama dan termokimia secara konsisten dengan definisi termodinamika dan kimia fisika;
2. menggunakan persamaan dasar dengan satuan yang benar serta menyatakan asumsi dan kendala proses;
3. menafsirkan grafik, tabel, dan hasil perhitungan dari sudut pandang fisik, bukan hanya aljabar;
4. menganalisis keterbatasan model ideal dan menghubungkannya dengan perilaku sistem nyata;
5. menyelesaikan soal konseptual dan numerik secara bertahap dengan pemeriksaan dimensi dan kewajaran hasil.



Gambar 7.1. Ilustrasi konseptual untuk hukum pertama dan termokimia.

7.1 ISTILAH DASAR TERMODINAMIKA

Sistem, lingkungan, batas, keadaan, lintasan, proses, dan siklus memiliki arti teknis yang jelas. Definisi yang konsisten diperlukan agar neraca energi dan tanda kalor-kerja tidak ambigu. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, istilah dasar termodinamika harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, istilah dasar termodinamika menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas istilah dasar termodinamika, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

7.2 KALOR DAN KERJA

Kalor adalah transfer energi akibat perbedaan temperatur, sedangkan kerja adalah transfer energi melalui gaya umum dan perpindahan koordinat. Keduanya bergantung pada lintasan dan bukan fungsi keadaan. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, kalor dan kerja harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah δq dan δw adalah diferensial tak eksak. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang

tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, kalor dan kerja menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

δq dan δw adalah diferensial tak eksak

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas kalor dan kerja. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

7.3 KERJA EKSPANSI

Untuk kerja tekanan-volume, kerja pada sistem mengikuti integral tekanan luar terhadap perubahan volume. Pada ekspansi melawan tekanan luar positif, kerja pada sistem bernilai negatif. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, kerja ekspansi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $w = -\int p_{\text{ext}} dV$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka

karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, kerja ekspansi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$w = -\int p_{\text{ext}} dV$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas kerja ekspansi. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas kerja ekspansi, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

7.3.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan kerja ekspansi. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan

dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

7.4 KERJA KOMPRESI

Pada kompresi, volume berkurang dan kerja dilakukan pada sistem. Besarnya bergantung pada hubungan tekanan luar dengan volume sepanjang lintasan. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, kerja kompresi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $w = -\int p_{\text{ext}} dV$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, kerja kompresi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman

mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$w = -\int p_{\text{ext}} dV$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas kerja kompresi. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

7.5 KERJA MAKSIMUM DAN MINIMUM

Untuk perubahan antara keadaan awal dan akhir tertentu, proses reversibel menghasilkan besar kerja ekspansi maksimum yang dapat diperoleh dari sistem. Perbedaan muncul karena tekanan luar selalu hampir sama dengan tekanan sistem. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, kerja maksimum dan minimum harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi

antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, kerja maksimum dan minimum menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas kerja maksimum dan minimum, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

7.6 PROSES REVERSIBEL DAN IREVERSIBEL

Proses reversibel merupakan idealisasi kuasistatik tanpa disipasi sehingga dapat dibalik oleh perubahan infinitesimal. Proses nyata melibatkan gradien hingga, gesekan, difusi, atau disipasi dan bersifat ireversibel. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, proses reversibel dan ireversibel harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, proses reversibel dan ireversibel menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

7.6.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan proses reversibel dan ireversibel. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu- x dan variabel respons pada sumbu- y . Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

7.7 ENERGI DALAM DAN HUKUM PERTAMA

Energi dalam U adalah fungsi keadaan yang mencakup energi mikroskopik sistem. Perubahan U hanya bergantung pada keadaan awal dan akhir, walaupun q dan w dapat berbeda untuk lintasan yang berbeda. Dalam konteks Kimia Fisika 1,

pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, energi dalam dan hukum pertama harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $dU = \delta q + \delta w$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, energi dalam dan hukum pertama menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$dU = \delta q + \delta w$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas energi dalam dan hukum pertama. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas energi dalam dan hukum pertama, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

7.8 SIFAT ENERGI DALAM

Untuk sistem sederhana kompresibel, energi dalam dapat dipandang sebagai fungsi temperatur dan volume. Turunan parsialnya menghubungkan kapasitas kalor dan respons terhadap ekspansi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, sifat energi dalam harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $dU = (\partial U / \partial T)_V dT + (\partial U / \partial V)_T dV$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, sifat energi dalam menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$dU = (\partial U / \partial T)_V dT + (\partial U / \partial V)_T dV$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas sifat energi dalam. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

7.9 DIFERENSIAL EKSAK DAN TAK EKSAK

Diferensial fungsi keadaan bersifat eksak sehingga integralnya tidak bergantung pada lintasan. Kalor dan kerja dinyatakan dengan diferensial tak eksak karena nilainya bergantung pada proses. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, diferensial eksak dan tak eksak harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\oint dU = 0$; $\oint \delta q$ umumnya $\neq 0$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, diferensial eksak dan tak eksak menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\oint dU=0; \oint \delta q \text{ umumnya } \neq 0$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas diferensial eksak dan tak eksak. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas diferensial eksak dan tak eksak, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

7.9.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan diferensial eksak dan tak eksak. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

7.10 PERUBAHAN ENERGI TERHADAP VARIABEL KEADAAN

Hubungan diferensial memungkinkan perubahan energi dihitung dari perubahan temperatur, volume, atau tekanan. Untuk gas ideal, energi dalam hanya bergantung pada temperatur. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, perubahan energi terhadap variabel keadaan harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $(\partial U / \partial V)_T = 0$ untuk gas ideal. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang

tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, perubahan energi terhadap variabel keadaan menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$(\partial U / \partial V)_T = 0 \text{ untuk gas ideal}$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas perubahan energi terhadap variabel keadaan. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

7.11 PERUBAHAN KEADAAN PADA VOLUME KONSTAN

Pada volume konstan tidak ada kerja pV . Jika hanya kerja pV yang mungkin, kalor pada volume konstan sama dengan perubahan energi dalam. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, perubahan keadaan pada volume konstan harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $q_V = \Delta U$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak

terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, perubahan keadaan pada volume konstan menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$q_V = \Delta U$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas perubahan keadaan pada volume konstan. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas perubahan keadaan pada volume konstan, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

7.12 PERCOBAAN JOULE

Ekspansi bebas gas ideal ke ruang hampa tidak menghasilkan kerja dan tidak menerima kalor. Tidak adanya perubahan temperatur pada limit ideal mendukung kesimpulan bahwa U gas ideal hanya bergantung pada T . Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, percobaan joule harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti

tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, percobaan joule menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

7.12.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan percobaan joule. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

7.13 PERUBAHAN KEADAAN PADA TEKANAN KONSTAN

Entalpi $H=U+pV$ merupakan fungsi keadaan yang nyaman untuk proses pada tekanan konstan. Jika hanya kerja pV , kalor pada tekanan konstan sama dengan perubahan entalpi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, perubahan keadaan pada tekanan konstan harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $q_p = \Delta H$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang

tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, perubahan keadaan pada tekanan konstan menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$q_p = \Delta H$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas perubahan keadaan pada tekanan konstan. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas perubahan keadaan pada tekanan konstan, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

7.14 HUBUNGAN KAPASITAS KALOR C_p DAN C_v

Kapasitas kalor pada tekanan dan volume konstan berbeda karena pemanasan pada tekanan konstan melibatkan kerja ekspansi. Untuk gas ideal, selisih molar keduanya sama dengan konstanta gas. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, hubungan kapasitas kalor C_p dan C_v harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $C_p - C_v = R$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan

substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, hubungan kapasitas kalor c_p dan c_v menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$C_p - C_v = R$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas hubungan kapasitas kalor c_p dan c_v . Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

7.15 EFEK JOULE-THOMSON

Ekspansi melalui penyempitan pada keadaan tunak dan adiabatik mendekati proses entalpi konstan. Koefisien Joule-Thomson menentukan apakah gas mendingin atau memanaskan saat tekanannya turun. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, efek joule-thomson harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari

sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\mu_{JT} = (\partial T / \partial p)_H$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, efek joule-thomson menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\mu_{JT} = (\partial T / \partial p)_H$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas efek joule-thomson. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas efek joule-thomson, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar

pada kendala yang salah.

7.15.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan efek joule-thomson. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

7.16 PERUBAHAN ADIABATIK

Proses adiabatik tidak bertukar kalor dengan lingkungan. Untuk gas ideal dalam proses reversibel, tekanan, volume, dan temperatur dihubungkan melalui pangkat rasio kapasitas kalor. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, perubahan adiabatik harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $pV^\gamma = \text{konstan}$; $TV^{\gamma-1} = \text{konstan}$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan

parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, perubahan adiabatik menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$pV^\gamma = \text{konstan}; TV^{\{\gamma-1\}} = \text{konstan}$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas perubahan adiabatik. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

7.17 STRATEGI PEMECAHAN SOAL TERMODINAMIKA

Pemecahan soal dimulai dengan mendefinisikan sistem, tanda, keadaan awal-akhir, kendala proses, dan jenis kerja. Setelah itu dipilih fungsi keadaan atau hubungan proses yang paling langsung. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, strategi pemecahan soal termodinamika harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola

eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, strategi pemecahan soal termodinamika menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas strategi pemecahan soal termodinamika, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

7.18 PANAS REAKSI DAN HUKUM PERTAMA

Reaksi kimia mengubah komposisi dan energi ikatan. Kalor reaksi pada tekanan tetap diidentifikasi dengan perubahan entalpi reaksi, sedangkan pada volume tetap berkaitan dengan perubahan energi dalam. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta

kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, panas reaksi dan hukum pertama harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta_r H = \sum_i \nu_i H_i$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, panas reaksi dan hukum pertama menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta_r H = \sum_i \nu_i H_i$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas panas reaksi dan hukum pertama. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

7.18.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan panas reaksi dan hukum pertama. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

7.19 REAKSI PEMBENTUKAN

Reaksi pembentukan menghasilkan satu mol senyawa dari unsur-unsurnya dalam keadaan acuan. Entalpi pembentukan standar menjadi blok penyusun untuk menghitung entalpi reaksi umum. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, reaksi pembentukan harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, reaksi pembentukan menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas reaksi pembentukan, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

7.20 KONVENSI ENTALPI MOLAR STANDAR

Nilai entalpi absolut tidak perlu ditetapkan; yang digunakan adalah perbedaan entalpi terhadap acuan. Entalpi pembentukan standar unsur dalam keadaan referensinya didefinisikan nol. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, konvensi entalpi molar standar harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan

asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta_f H^\circ$ unsur acuan = 0. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, konvensi entalpi molar standar menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta_f H^\circ \text{ unsur acuan} = 0$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas konvensi entalpi molar standar. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

7.21 PENENTUAN ENTALPI PEMBENTUKAN

Entalpi pembentukan dapat diperoleh langsung melalui kalorimetri atau tidak langsung dengan menggabungkan reaksi yang diketahui. Ketelitian menuntut koreksi keadaan fisik, temperatur, dan stoikiometri. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup

berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, penentuan entalpi pembentukan harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, penentuan entalpi pembentukan menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas penentuan entalpi pembentukan, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan

yang benar pada kendala yang salah.

7.21.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan penentuan entalpi pembentukan. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

7.22 HUKUM HESS

Karena entalpi merupakan fungsi keadaan, perubahan entalpi total tidak bergantung pada lintasan reaksi. Reaksi dapat dijumlah, dibalik, atau dikalikan dan perubahan entalpinya diperlakukan dengan operasi yang sama. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, hukum hess harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta H_{\text{total}} = \Sigma \Delta H_{\text{tahap}}$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip

menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, hukum hess menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta H_{\text{total}} = \Sigma \Delta H_{\text{tahap}}$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas hukum hess. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

7.23 ENTALPI PELARUTAN DAN PENGECERAN

Pelarutan melibatkan pemutusan dan pembentukan interaksi antara zat terlarut dan pelarut. Entalpi pelarutan dapat bergantung pada konsentrasi, sehingga pengenceran juga dapat menghasilkan perubahan entalpi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, entalpi pelarutan dan pengenceran harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola

eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, entalpi pelarutan dan pengenceran menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas entalpi pelarutan dan pengenceran, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

7.24 KALOR REAKSI PADA VOLUME KONSTAN

Pada kalorimeter bom, reaksi berlangsung pada volume hampir konstan sehingga kalor terukur berkaitan dengan ΔU . Hubungan dengan ΔH memerlukan koreksi kerja ekspansi gas. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran

yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, kalor reaksi pada volume konstan harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta H = \Delta U + \Delta n_g RT$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, kalor reaksi pada volume konstan menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta H = \Delta U + \Delta n_g RT$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas kalor reaksi pada volume konstan. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

7.24.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan kalor reaksi pada volume konstan. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

7.25 KETERGANTUNGAN ENTALPI REAKSI PADA TEMPERATUR

Perubahan entalpi reaksi berubah dengan temperatur sesuai perbedaan kapasitas kalor produk dan pereaksi. Persamaan Kirchhoff memungkinkan koreksi entalpi dari satu temperatur ke temperatur lain. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, ketergantungan entalpi reaksi pada temperatur harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $d(\Delta_r H)/dT = \Delta_r C_p$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip

menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, ketergantungan entalpi reaksi pada temperatur menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$d(\Delta_r H)/dT = \Delta_r C_p$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas ketergantungan entalpi reaksi pada temperatur. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas ketergantungan entalpi reaksi pada temperatur, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

7.26 ENTALPI IKATAN

Entalpi ikatan rata-rata dapat digunakan untuk memperkirakan entalpi reaksi dari energi yang dibutuhkan untuk memutus ikatan dan energi yang dilepas saat membentuk ikatan. Nilainya bersifat rata-rata dan bergantung lingkungan kimia. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur.

Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, entalpi ikatan harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta H \approx \Sigma D(\text{ikatan diputus}) - \Sigma D(\text{ikatan terbentuk})$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, entalpi ikatan menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta H \approx \Sigma D(\text{ikatan diputus}) - \Sigma D(\text{ikatan terbentuk})$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas entalpi ikatan. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

7.27 PENGUKURAN KALORIMETRI

Kalorimetri mengukur pertukaran energi melalui perubahan temperatur sistem kalibrasi. Kapasitas kalor alat, kehilangan kalor, pengadukan, dan koreksi reaksi samping harus diperhitungkan untuk memperoleh data termokimia yang baik. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, pengukuran kalorimetri harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $q_{\text{cal}} = C_{\text{cal}} \Delta T$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, pengukuran kalorimetri menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang

merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$q_{\text{cal}} = C_{\text{cal}} \Delta T$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas pengukuran kalorimetri. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas pengukuran kalorimetri, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

7.27.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan pengukuran kalorimetri. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

Tabel 7.1. Besaran dan hubungan kunci pada Bab 7.

Besaran	Definisi	Hubungan penting
Energi dalam U	fungsi keadaan energi mikroskopik	$\Delta U = q + w$
Entalpi H	$U + pV$	$q_p = \Delta H$ untuk kerja pV
Kapasitas kalor C_V	$(\partial U / \partial T)_V$	$q_V = n C_V \Delta T$
Kapasitas kalor C_p	$(\partial H / \partial T)_p$	$q_p = n C_p \Delta T$
Koefisien Joule-Thomson	$(\partial T / \partial p)_H$	menentukan

Besaran	Definisi	Hubungan penting
		pendinginan/pemanasan throttling

7.A STUDI KASUS TERPADU

Studi kasus pada bab ini dirancang untuk menghubungkan beberapa subtopik sekaligus. Misalkan sebuah sistem laboratorium dipantau melalui tekanan, temperatur, volume, atau komposisinya sesuai topik hukum pertama dan termokimia. Data awal diperoleh dari alat yang memiliki resolusi terbatas. Mahasiswa diminta menentukan model paling sederhana yang sesuai, melakukan perhitungan, lalu menilai apakah hasil masih berada pada domain asumsi model.

Analisis harus dimulai dari identifikasi sistem dan batas. Tuliskan besaran yang bersifat ekstensif dan intensif, kemudian tentukan variabel yang dikendalikan. Setelah persamaan dipilih, semua data dikonversi ke satuan yang konsisten. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan kecenderungan fisis: apakah tekanan seharusnya meningkat atau menurun, apakah energi masuk atau keluar, dan apakah perubahan yang diprediksi realistis terhadap skala eksperimen.

Tahap terakhir adalah evaluasi ketidakpastian dan asumsi. Bila hasil menyimpang dari prediksi, jangan langsung menyebut kesalahan manusia. Tanyakan apakah ada kebocoran, pertukaran kalor, nonidealitas, keterlambatan sensor, perubahan fase, atau asumsi kesetimbangan yang tidak terpenuhi. Pendekatan ini melatih pemikiran kimia fisika yang dapat dipertanggungjawabkan dan dapat diterapkan pada eksperimen maupun simulasi.

CONTOH SOAL TERBIMBING

Contoh 1. Satu mol gas ideal berekspansi isothermal reversibel pada 300 K dari 5,00 L menjadi 10,00 L. Hitung kerja pada sistem.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $w = -nRT \ln(V_2/V_1) = -8,314 \times 300 \times \ln 2 = -1.729 \text{ kJ}$. Tanda negatif menunjukkan sistem melakukan kerja. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak

berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 2. Pada kalorimeter volume konstan, reaksi melepaskan 2,50 kJ kalor ke lingkungan. Berapa ΔU sistem?

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. Pada volume konstan dan hanya kerja pV , $q_V = \Delta U$. Karena sistem melepaskan kalor, $q = -2,50$ kJ, sehingga $\Delta U = -2,50$ kJ. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 3. Suatu reaksi gas memiliki $\Delta U = -100,0$ kJ mol⁻¹ dan $\Delta n_g = +2$ pada 298,15 K. Hitung ΔH .

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $\Delta H = \Delta U + \Delta n_g RT = -100,0 + 2 \times 8,314 \times 298,15 / 1000 = -95,04$ kJ mol⁻¹. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat

temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 4. Gunakan $\Delta_f H^\circ$ (kJ mol^{-1}): $\text{CO}_2(\text{g}) = -393,5$; $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) = -285,83$; $\text{CH}_4(\text{g}) = -74,81$; $\text{O}_2(\text{g}) = 0$ untuk menghitung entalpi pembakaran $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisis berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $\Delta_r H^\circ = [-393,5 + 2(-285,83)] - [-74,81 + 0] = -890,35 \text{ kJ mol}^{-1}$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 5. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan kerja maksimum dan minimum. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Untuk perubahan antara keadaan awal dan akhir tertentu, proses reversibel menghasilkan besar kerja ekspansi maksimum yang dapat diperoleh dari sistem. Perbedaan muncul karena tekanan luar selalu hampir sama dengan tekanan sistem. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif,

mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada kerja maksimum dan minimum dan pada tema bab, yaitu neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 6. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan proses reversibel dan ireversibel. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Proses reversibel merupakan idealisasi kuasistatik tanpa disipasi sehingga dapat dibalik oleh perubahan infinitesimal. Proses nyata melibatkan gradien hingga, gesekan, difusi, atau disipasi dan bersifat ireversibel. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan

menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada proses reversibel dan ireversibel dan pada tema bab, yaitu neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 7. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan energi dalam dan hukum pertama. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Energi dalam U adalah fungsi keadaan yang mencakup energi mikroskopik sistem. Perubahan U hanya bergantung pada keadaan awal dan akhir, walaupun q dan w dapat berbeda untuk lintasan yang berbeda. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $dU = \delta q + \delta w$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada energi dalam dan hukum pertama dan pada tema bab, yaitu neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 8. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan sifat energi dalam. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Untuk sistem sederhana kompresibel, energi dalam dapat dipandang sebagai fungsi temperatur dan volume. Turunan parsialnya menghubungkan kapasitas kalor dan respons terhadap ekspansi. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $dU = (\partial U / \partial T)_V dT + (\partial U / \partial V)_T dV$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada sifat energi dalam dan pada tema bab, yaitu neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 9. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan diferensial eksak dan tak eksak. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Diferensial fungsi keadaan bersifat eksak sehingga integralnya tidak bergantung pada lintasan. Kalor dan kerja dinyatakan dengan diferensial tak eksak karena nilainya bergantung pada proses. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang

bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $\oint dU=0$; $\oint \delta q$ umumnya $\neq 0$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada diferensial eksak dan tak eksak dan pada tema bab, yaitu neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 10. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan perubahan energi terhadap variabel keadaan. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Hubungan diferensial memungkinkan perubahan energi dihitung dari perubahan temperatur, volume, atau tekanan. Untuk gas ideal, energi dalam hanya bergantung pada temperatur. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $(\partial U/\partial V)_T = 0$ untuk gas ideal. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada perubahan energi terhadap variabel keadaan dan pada tema bab, yaitu neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 11. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan perubahan keadaan pada volume konstan. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Pada volume konstan tidak ada kerja pV . Jika hanya kerja pV yang mungkin, kalor pada volume konstan sama dengan perubahan energi dalam. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $q_V = \Delta U$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada perubahan keadaan pada volume konstan dan pada tema bab, yaitu neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 12. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan percobaan joule. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Ekspansi bebas gas ideal ke ruang hampa tidak menghasilkan kerja dan tidak menerima kalor. Tidak adanya perubahan temperatur pada limit ideal mendukung kesimpulan bahwa U gas ideal hanya bergantung pada T . Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada percobaan joule dan pada tema bab, yaitu neraca energi dan pengukuran kalor serta kerja. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

7.B RANGKUMAN

1. Sistem, lingkungan, batas, keadaan, lintasan, proses, dan siklus memiliki arti teknis yang jelas.
2. Kalor adalah transfer energi akibat perbedaan temperatur, sedangkan kerja adalah transfer energi melalui gaya umum dan perpindahan koordinat.
3. Untuk kerja tekanan-volume, kerja pada sistem mengikuti integral tekanan luar terhadap perubahan volume.
4. Pada kompresi, volume berkurang dan kerja dilakukan pada sistem.

5. Untuk perubahan antara keadaan awal dan akhir tertentu, proses reversibel menghasilkan besar kerja ekspansi maksimum yang dapat diperoleh dari sistem.
6. Proses reversibel merupakan idealisasi kuasistatik tanpa disipasi sehingga dapat dibalik oleh perubahan infinitesimal.
7. Energi dalam U adalah fungsi keadaan yang mencakup energi mikroskopik sistem.
8. Untuk sistem sederhana kompresibel, energi dalam dapat dipandang sebagai fungsi temperatur dan volume.
9. Diferensial fungsi keadaan bersifat eksak sehingga integralnya tidak bergantung pada lintasan.
10. Hubungan diferensial memungkinkan perubahan energi dihitung dari perubahan temperatur, volume, atau tekanan.
11. Pada volume konstan tidak ada kerja pV .
12. Ekspansi bebas gas ideal ke ruang hampa tidak menghasilkan kerja dan tidak menerima kalor.
13. Entalpi $H=U+pV$ merupakan fungsi keadaan yang nyaman untuk proses pada tekanan konstan.
14. Kapasitas kalor pada tekanan dan volume konstan berbeda karena pemanasan pada tekanan konstan melibatkan kerja ekspansi.
15. Ekspansi melalui penyempitan pada keadaan tunak dan adiabatik mendekati proses entalpi konstan.
16. Proses adiabatik tidak bertukar kalor dengan lingkungan.
17. Pemecahan soal dimulai dengan mendefinisikan sistem, tanda, keadaan awal-akhir, kendala proses, dan jenis kerja.
18. Reaksi kimia mengubah komposisi dan energi ikatan.
19. Reaksi pembentukan menghasilkan satu mol senyawa dari unsur-unsurnya dalam keadaan acuan.
20. Nilai entalpi absolut tidak perlu ditetapkan; yang digunakan adalah perbedaan entalpi terhadap acuan.
21. Entalpi pembentukan dapat diperoleh langsung melalui kalorimetri atau tidak langsung dengan menggabungkan reaksi yang diketahui.
22. Karena entalpi merupakan fungsi keadaan, perubahan entalpi total tidak bergantung pada lintasan reaksi.
23. Pelarutan melibatkan pemutusan dan pembentukan interaksi antara zat terlarut dan pelarut.

24. Pada kalorimeter bom, reaksi berlangsung pada volume hampir konstan sehingga kalor terukur berkaitan dengan ΔU .
25. Perubahan entalpi reaksi berubah dengan temperatur sesuai perbedaan kapasitas kalor produk dan pereaksi.
26. Entalpi ikatan rata-rata dapat digunakan untuk memperkirakan entalpi reaksi dari energi yang dibutuhkan untuk memutus ikatan dan energi yang dilepas saat membentuk ikatan.
27. Kalorimetri mengukur pertukaran energi melalui perubahan temperatur sistem kalibrasi.

LATIHAN BAB

1. Jelaskan konsep istilah dasar termodinamika dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
2. Bandingkan kalor dan kerja dengan kerja ekspansi. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
3. Interpretasikan persamaan $w = -\int p_{\text{ext}} dV$ pada konteks kerja ekspansi. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
4. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian kerja kompresi. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
5. Jelaskan konsep kerja maksimum dan minimum dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
6. Bandingkan proses reversibel dan ireversibel dengan energi dalam dan hukum pertama. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
7. Interpretasikan persamaan $dU = \delta q + \delta w$ pada konteks energi dalam dan hukum pertama. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
8. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian sifat energi dalam. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
9. Jelaskan konsep diferensial eksak dan tak eksak dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
10. Bandingkan perubahan energi terhadap variabel keadaan dengan perubahan keadaan pada volume konstan. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?

11. Interpretasikan persamaan $q_V = \Delta U$ pada konteks perubahan keadaan pada volume konstan. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
12. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian percobaan joule. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
13. Jelaskan konsep perubahan keadaan pada tekanan konstan dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
14. Bandingkan hubungan kapasitas kalor c_p dan c_v dengan efek joule-thomson. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
15. Interpretasikan persamaan $\mu_{JT} = (\partial T / \partial p)_H$ pada konteks efek joule-thomson. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
16. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian perubahan adiabatik. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
17. Satu mol gas ideal berekspansi isothermal reversibel pada 300 K dari 5,00 L menjadi 10,00 L. Hitung kerja pada sistem.
18. Pada kalorimeter volume konstan, reaksi melepaskan 2,50 kJ kalor ke lingkungan. Berapa ΔU sistem?
19. Suatu reaksi gas memiliki $\Delta U = -100,0 \text{ kJ mol}^{-1}$ dan $\Delta n_g = +2$ pada 298,15 K. Hitung ΔH .
20. Gunakan $\Delta_f H^\circ$ (kJ mol^{-1}): $\text{CO}_2(\text{g}) = -393,5$; $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) = -285,83$; $\text{CH}_4(\text{g}) = -74,81$; $\text{O}_2(\text{g}) = 0$ untuk menghitung entalpi pembakaran $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB

1. Langkah 1 - identifikasi konsep: Sistem, lingkungan, batas, keadaan, lintasan, proses, dan siklus memiliki arti teknis yang jelas. Definisi yang konsisten diperlukan agar neraca energi dan tanda kalor-kerja tidak ambigu. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

2. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Kalor adalah transfer energi akibat perbedaan temperatur, sedangkan kerja adalah transfer energi melalui gaya umum dan

perpindahan koordinat. Keduanya bergantung pada lintasan dan bukan fungsi keadaan. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Untuk kerja tekanan-volume, kerja pada sistem mengikuti integral tekanan luar terhadap perubahan volume. Pada ekspansi melawan tekanan luar positif, kerja pada sistem bernilai negatif. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

3. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $w = -\int p_{\text{ext}} dV$ berlaku sebagai representasi kerja ekspansi di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

4. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada kerja kompresi. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Pada kompresi, volume berkurang dan kerja dilakukan pada sistem. Besarnya bergantung pada hubungan tekanan luar dengan volume sepanjang lintasan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

5. Langkah 1 - identifikasi konsep: Untuk perubahan antara keadaan awal dan akhir tertentu, proses reversibel menghasilkan besar kerja ekspansi maksimum yang dapat diperoleh dari sistem. Perbedaan muncul karena tekanan luar selalu hampir sama dengan tekanan sistem. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

6. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Proses reversibel merupakan idealisasi kuasistatik tanpa disipasi sehingga dapat dibalik oleh perubahan infinitesimal. Proses nyata melibatkan gradien hingga, gesekan, difusi, atau disipasi dan bersifat ireversibel. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Energi dalam U adalah fungsi keadaan yang mencakup energi mikroskopik sistem. Perubahan U hanya bergantung pada keadaan awal dan akhir, walaupun q dan w dapat berbeda untuk lintasan yang berbeda. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

7. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $dU = \delta q + \delta w$ berlaku sebagai representasi energi dalam dan hukum pertama di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

8. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada sifat energi dalam. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Untuk sistem sederhana kompresibel, energi dalam dapat dipandang sebagai fungsi temperatur dan volume. Turunan parsialnya menghubungkan kapasitas kalor dan respons terhadap ekspansi.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

9. Langkah 1 - identifikasi konsep: Diferensial fungsi keadaan bersifat eksak sehingga integralnya tidak bergantung pada lintasan. Kalor dan kerja dinyatakan dengan diferensial tak eksak karena nilainya bergantung pada proses. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang

dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

10. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Hubungan diferensial memungkinkan perubahan energi dihitung dari perubahan temperatur, volume, atau tekanan. Untuk gas ideal, energi dalam hanya bergantung pada temperatur. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Pada volume konstan tidak ada kerja pV . Jika hanya kerja pV yang mungkin, kalor pada volume konstan sama dengan perubahan energi dalam. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

11. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $q_V = \Delta U$ berlaku sebagai representasi perubahan keadaan pada volume konstan di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

12. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada percobaan joule. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Ekspansi bebas gas ideal ke ruang hampa tidak menghasilkan kerja dan tidak menerima kalor. Tidak adanya perubahan temperatur pada limit ideal mendukung kesimpulan bahwa U gas ideal hanya bergantung pada T .

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

13. Langkah 1 - identifikasi konsep: Entalpi $H=U+pV$ merupakan fungsi keadaan yang nyaman untuk proses pada tekanan konstan. Jika hanya kerja pV , kalor pada tekanan konstan sama dengan perubahan entalpi. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

14. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Kapasitas kalor pada tekanan dan volume konstan berbeda karena pemanasan pada tekanan konstan melibatkan kerja ekspansi. Untuk gas ideal, selisih molar keduanya sama dengan konstanta gas. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Ekspansi melalui penyempitan pada keadaan tunak dan adiabatik mendekati proses entalpi konstan. Koefisien Joule-Thomson menentukan apakah gas mendingin atau memanaskan saat tekanannya turun. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

15. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $\mu_{JT}=(\partial T/\partial p)_H$ berlaku sebagai representasi efek joule-thomson di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

16. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada perubahan adiabatik. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Proses adiabatik tidak bertukar kalor dengan lingkungan. Untuk gas ideal dalam proses reversibel, tekanan, volume, dan temperatur dihubungkan melalui pangkat rasio kapasitas kalor.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

17. $w = -nRT \ln(V_2/V_1) = -8,314 \times 300 \times \ln 2 = -1.729 \text{ kJ}$. Tanda negatif menunjukkan sistem melakukan kerja.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

18. Pada volume konstan dan hanya kerja pV, $q_V = \Delta U$. Karena sistem melepaskan kalor, $q = -2,50 \text{ kJ}$, sehingga $\Delta U = -2,50 \text{ kJ}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

19. $\Delta H = \Delta U + \Delta n_g RT = -100,0 + 2 \times 8,314 \times 298,15/1000 = -95.04 \text{ kJ mol}^{-1}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

20. $\Delta_r H^\circ = [-393,5 + 2(-285,83)] - [-74,81 + 0] = -890.35 \text{ kJ mol}^{-1}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

SOAL PENGEMBANGAN

1. Rancang eksperimen atau simulasi sederhana untuk menguji salah satu hubungan utama pada Bab 7. Tentukan variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, dan kriteria kualitas data.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

2. Pilih dua subbab pada Bab 7 yang tampak terpisah. Tunjukkan hubungan konseptual atau matematis di antara keduanya dengan diagram alur dan penjelasan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban

pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

3. Cari satu kondisi ketika model sederhana pada bab ini tidak lagi memadai. Jelaskan gejala penyimpangannya dan jenis model atau koreksi yang diperlukan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

4. Susun satu masalah terbuka yang memiliki lebih dari satu cara penyelesaian. Bandingkan kelebihan dan keterbatasan tiap cara dari sisi data yang dibutuhkan dan asumsi.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

5. Buat peta konsep satu halaman yang menghubungkan definisi, persamaan, grafik, contoh eksperimen, dan sumber ketidakpastian utama pada bab ini.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

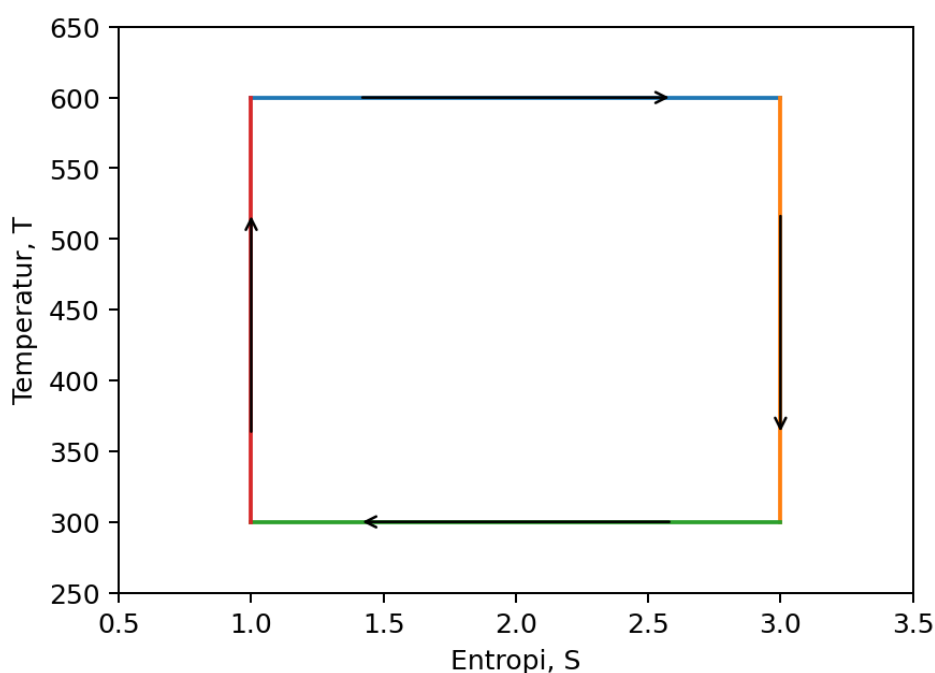
8

BAB 8. HUKUM KEDUA TERMODINAMIKA

Hukum pertama tidak menentukan arah spontan suatu proses. Hukum kedua memperkenalkan batas konversi kalor menjadi kerja dan menyediakan fungsi keadaan entropi untuk menguji arah perubahan dan reversibilitas.

8.0 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. menjelaskan konsep inti yang membentuk hukum kedua secara konsisten dengan definisi termodinamika dan kimia fisika;
2. menggunakan persamaan dasar dengan satuan yang benar serta menyatakan asumsi dan kendala proses;
3. menafsirkan grafik, tabel, dan hasil perhitungan dari sudut pandang fisik, bukan hanya aljabar;
4. menganalisis keterbatasan model ideal dan menghubungkannya dengan perilaku sistem nyata;
5. menyelesaikan soal konseptual dan numerik secara bertahap dengan pemeriksaan dimensi dan kewajaran hasil.



Gambar 8.1. Ilustrasi konseptual untuk hukum kedua.

8.1 ARAH PROSES ALAMI

Banyak proses memiliki arah spontan: panas mengalir dari suhu tinggi ke rendah, gas menyebar, dan gesekan mengubah kerja teratur menjadi energi termal. Arah ini tidak ditentukan oleh konservasi energi saja. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, arah proses alami harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, arah proses alami menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas arah proses alami, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

8.2 SIKLUS CARNOT

Siklus Carnot adalah siklus reversibel ideal yang terdiri dari dua langkah isothermal dan dua langkah adiabatik. Siklus ini menetapkan batas atas efisiensi mesin yang bekerja antara dua reservoir temperatur. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, siklus carnot harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematis dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, siklus carnot menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

8.3 PERNYATAAN HUKUM KEDUA

Pernyataan Kelvin-Planck melarang mesin siklik yang mengubah seluruh kalor dari satu reservoir menjadi kerja. Pernyataan Clausius melarang perpindahan kalor dari dingin ke panas tanpa efek lain. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, pernyataan hukum kedua harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, pernyataan hukum kedua menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas pernyataan hukum kedua, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

8.3.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan pernyataan hukum kedua. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

8.4 KARAKTERISTIK SIKLUS REVERSIBEL

Pada siklus reversibel tidak ada produksi entropi internal. Setiap tahap berlangsung melalui keadaan yang sangat dekat dengan kesetimbangan dan tidak melibatkan gesekan atau gradien hingga. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, karakteristik siklus reversibel harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematis dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, karakteristik siklus reversibel menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

8.5 MESIN GERAK ABADI JENIS KEDUA

Mesin hipotetik yang menghasilkan kerja siklik hanya dengan menyerap kalor dari satu reservoir melanggar hukum kedua. Larangan ini berbeda dari pelanggaran hukum pertama karena energi total tetap dapat dihitung. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali

variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, mesin gerak abadi jenis kedua harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, mesin gerak abadi jenis kedua menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas mesin gerak abadi jenis kedua, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan

yang benar pada kendala yang salah.

8.6 EFISIENSI MESIN KALOR

Efisiensi adalah perbandingan kerja bersih yang diperoleh terhadap kalor yang diserap dari reservoir panas. Mesin reversibel memiliki efisiensi maksimum yang hanya bergantung pada temperatur kedua reservoir. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, efisiensi mesin kalor harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\eta = W/Q_H = 1 - T_C/T_H$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, efisiensi mesin kalor menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke

bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\eta = W/Q_H = 1 - T_C/T_H$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas efisiensi mesin kalor. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

8.6.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan efisiensi mesin kalor. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

8.7 MESIN HIPOTETIK YANG TIDAK MUNGKIN

Menggabungkan mesin yang lebih efisien daripada Carnot dengan mesin Carnot terbalik akan menghasilkan pelanggaran pernyataan hukum kedua. Argumen ini menunjukkan universalitas batas Carnot. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, mesin hipotetik yang tidak mungkin harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola

eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, mesin hipotetik yang tidak mungkin menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas mesin hipotetik yang tidak mungkin, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

8.8 SKALA TEMPERATUR TERMODINAMIK

Rasio kalor pada mesin Carnot reversibel memberikan dasar skala temperatur yang tidak bergantung pada zat termometrik. Skala Kelvin konsisten dengan konsep ini. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran

yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, skala temperatur termodinamik harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $Q_H/Q_C = T_H/T_C$ untuk siklus Carnot reversibel. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, skala temperatur termodinamik menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$Q_H/Q_C = T_H/T_C \text{ untuk siklus Carnot reversibel}$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas skala temperatur termodinamik. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

8.9 TINJAUAN KONSEPTUAL

Hukum kedua mengubah pembahasan energi dari sekadar jumlah menjadi kualitas dan arah. Energi tetap kekal, tetapi kemampuan energi menghasilkan kerja menurun dalam proses ireversibel. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, tinjauan konseptual harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematis dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, tinjauan konseptual menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke

bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas tinjauan konseptual, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

8.9.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan tinjauan konseptual. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

8.10 SIKLUS CARNOT DENGAN GAS IDEAL

Gas ideal dapat digunakan sebagai zat kerja untuk menurunkan hubungan Carnot. Pada langkah isothermal terjadi pertukaran kalor dengan kerja ekspansi atau kompresi, sedangkan pada langkah adiabatik temperatur berubah tanpa kalor. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, siklus carnot dengan gas ideal harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil

kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematis dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, siklus carnot dengan gas ideal menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

8.11 MESIN PENDINGIN CARNOT

Pendingin memindahkan kalor dari reservoir dingin ke reservoir panas dengan bantuan kerja. Koefisien prestasi menunjukkan kalor yang dipindahkan dari sisi dingin per satuan kerja. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, mesin pendingin carnot harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik

seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $COP_R = T_C/(T_H - T_C)$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, mesin pendingin carnot menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$COP_R = T_C/(T_H - T_C)$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas mesin pendingin carnot. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas mesin pendingin carnot, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru

bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

8.12 POMPA KALOR

Pompa kalor menggunakan prinsip yang sama dengan pendingin, tetapi manfaat yang dihitung adalah kalor yang dilepas ke reservoir panas. Koefisien prestasinya dapat lebih besar dari satu tanpa melanggar konservasi energi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, pompa kalor harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $COP_{HP} = T_H / (T_H - T_C)$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematis dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, pompa kalor menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\text{COP}_{\text{HP}} = T_{\text{H}}/(T_{\text{H}}-T_{\text{C}})$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas pompa kalor. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

8.12.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan pompa kalor. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

8.13 DEFINISI ENTROPI

Untuk perubahan reversibel, diferensial entropi didefinisikan sebagai kalor reversibel dibagi temperatur absolut. Entropi merupakan fungsi keadaan sehingga perubahan totalnya hanya bergantung pada keadaan awal dan akhir. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, definisi entropi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan

hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $dS = \delta q_{\text{rev}}/T$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, definisi entropi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$dS = \delta q_{\text{rev}}/T$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas definisi entropi. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas definisi entropi, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

8.14 PEMBUKTIAN UMUM KONSEP ENTROPI

Dengan membandingkan siklus reversibel dan menggunakan teorema Carnot, integral $\delta q_{\text{rev}}/T$ pada lintasan tertutup sama dengan nol. Karena itu terdapat fungsi keadaan S yang diferensialnya sama dengan $\delta q_{\text{rev}}/T$. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, pembuktian umum konsep entropi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\oint \delta q_{\text{rev}}/T = 0$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, pembuktian umum konsep entropi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran

mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\oint \delta q_{\text{rev}}/T = 0$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas pembuktian umum konsep entropi. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

8.15 KETAKSAMAAN CLAUSIUS

Untuk siklus apa pun, integral $\delta q/T$ tidak lebih besar dari nol. Bentuk ini memisahkan perubahan entropi sistem dari entropi yang ditransfer bersama kalor dan produksi entropi akibat irreversibilitas. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, ketaksamaan clausius harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\oint \delta q/T \leq 0$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting.

Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, ketaksamaan clausius menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\oint \delta q/T \leq 0$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas ketaksamaan clausius. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas ketaksamaan clausius, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

8.15.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan ketaksamaan clausius. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

8.16 KESIMPULAN HUKUM KEDUA

Kriteria umum proses menyatakan bahwa entropi semesta meningkat untuk proses spontan dan tetap untuk proses reversibel ideal. Hukum kedua menjadi dasar bagi analisis kesetimbangan dan spontanitas. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, kesimpulan hukum kedua harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta S_{\text{univ}} \geq 0$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, kesimpulan hukum kedua menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan

tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta S_{\text{univ}} \geq 0$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas kesimpulan hukum kedua. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

Tabel 8.1. Besaran dan hubungan kunci pada Bab 8.

Mesin	Besaran kinerja	Rumus reversibel
Mesin kalor	Efisiensi η	$1 - T_C/T_H$
Pendingin	COP_R	$T_C/(T_H - T_C)$
Pompa kalor	COP_{HP}	$T_H/(T_H - T_C)$
Entropi	dS	$\delta q_{\text{rev}}/T$

8.A STUDI KASUS TERPADU

Studi kasus pada bab ini dirancang untuk menghubungkan beberapa subtopik sekaligus. Misalkan sebuah sistem laboratorium dipantau melalui tekanan, temperatur, volume, atau komposisinya sesuai topik hukum kedua. Data awal diperoleh dari alat yang memiliki resolusi terbatas. Mahasiswa diminta menentukan model paling sederhana yang sesuai, melakukan perhitungan, lalu menilai apakah hasil masih berada pada domain asumsi model.

Analisis harus dimulai dari identifikasi sistem dan batas. Tuliskan besaran yang bersifat ekstensif dan intensif, kemudian tentukan variabel yang dikendalikan. Setelah persamaan dipilih, semua data dikonversi ke satuan yang konsisten. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan kecenderungan fisis: apakah tekanan seharusnya meningkat atau menurun, apakah energi masuk atau keluar, dan apakah perubahan yang diprediksi realistis terhadap skala eksperimen.

Tahap terakhir adalah evaluasi ketidakpastian dan asumsi. Bila hasil menyimpang dari prediksi, jangan langsung menyebut kesalahan manusia. Tanyakan apakah ada kebocoran, pertukaran kalor, nonidealitas, keterlambatan sensor, perubahan fase, atau asumsi kesetimbangan yang tidak terpenuhi. Pendekatan ini melatih pemikiran kimia fisika yang dapat dipertanggungjawabkan dan dapat diterapkan pada eksperimen maupun simulasi.

CONTOH SOAL TERBIMBING

Contoh 1. Mesin Carnot bekerja antara 600 K dan 300 K. Hitung efisiensi maksimum.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $\eta = 1 - T_C/T_H = 1 - 300/600 = 0.50 = 50\%$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 2. Pendingin Carnot bekerja antara 270 K dan 300 K. Hitung COP pendingin.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $COP_R = T_C/(T_H - T_C) = 270/(300 - 270) = 9.0$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 3. Untuk kondisi yang sama, hitung COP pompa kalor.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $COP_{HP} = T_H / (T_H - T_C) = 300 / 30 = 10.0$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 4. Sistem menyerap 2,00 kJ kalor secara reversibel pada 400 K. Hitung perubahan entropinya.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $\Delta S = q_{rev} / T = 2000 / 400 = 5,00 \text{ J K}^{-1}$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 5. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan mesin gerak abadi jenis kedua. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Mesin hipotetik yang menghasilkan kerja siklik hanya dengan menyerap kalor dari satu reservoir melanggar hukum kedua. Larangan ini berbeda dari pelanggaran hukum pertama karena energi total tetap dapat dihitung. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada mesin gerak abadi jenis kedua dan pada tema bab, yaitu arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 6. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan efisiensi mesin kalor. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Efisiensi adalah perbandingan kerja bersih yang diperoleh terhadap kalor yang diserap dari reservoir panas. Mesin reversibel memiliki efisiensi maksimum yang hanya bergantung pada temperatur kedua reservoir. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $\eta = W/Q_H = 1 - T_C/T_H$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan

bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada efisiensi mesin kalor dan pada tema bab, yaitu arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 7. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan mesin hipotetik yang tidak mungkin. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Menggabungkan mesin yang lebih efisien daripada Carnot dengan mesin Carnot terbalik akan menghasilkan pelanggaran pernyataan hukum kedua. Argumen ini menunjukkan universalitas batas Carnot. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada mesin hipotetik yang tidak mungkin dan pada tema bab, yaitu arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 8. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan skala temperatur termodinamik. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Rasio kalor pada mesin Carnot reversibel memberikan dasar skala temperatur yang tidak bergantung pada zat termometrik. Skala Kelvin konsisten dengan konsep ini. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $Q_H/Q_C = T_H/T_C$ untuk siklus Carnot reversibel. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada skala temperatur termodinamik dan pada tema bab, yaitu arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 9. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan tinjauan konseptual. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Hukum kedua mengubah pembahasan energi dari sekadar jumlah menjadi kualitas dan arah. Energi tetap kekal, tetapi kemampuan energi menghasilkan kerja menurun dalam proses ireversibel. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada tinjauan konseptual dan pada tema bab, yaitu arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 10. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan siklus carnot dengan gas ideal. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Gas ideal dapat digunakan sebagai zat kerja untuk menurunkan hubungan Carnot. Pada langkah isothermal terjadi pertukaran kalor dengan kerja ekspansi atau kompresi, sedangkan pada langkah adiabatik temperatur berubah tanpa kalor. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca,

atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada siklus carnot dengan gas ideal dan pada tema bab, yaitu arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 11. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan mesin pendingin carnot. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Pendingin memindahkan kalor dari reservoir dingin ke reservoir panas dengan bantuan kerja. Koefisien prestasi menunjukkan kalor yang dipindahkan dari sisi dingin per satuan kerja. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $COP_R = T_C/(T_H - T_C)$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada mesin pendingin carnot dan pada tema bab, yaitu arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 12. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan pompa kalor. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Pompa kalor menggunakan prinsip yang sama dengan pendingin, tetapi manfaat yang dihitung adalah kalor yang dilepas ke reservoir panas. Koefisien prestasinya dapat lebih besar dari satu tanpa melanggar konservasi energi. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $COP_{HP} = T_H/(T_H - T_C)$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada pompa kalor dan pada tema bab, yaitu arah spontan, reversibilitas, dan batas mesin kalor. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

8.B RANGKUMAN

1. Banyak proses memiliki arah spontan: panas mengalir dari suhu tinggi ke rendah, gas menyebar, dan gesekan mengubah kerja teratur menjadi energi termal.

2. Siklus Carnot adalah siklus reversibel ideal yang terdiri dari dua langkah isothermal dan dua langkah adiabatik.
3. Pernyataan Kelvin-Planck melarang mesin siklik yang mengubah seluruh kalor dari satu reservoir menjadi kerja.
4. Pada siklus reversibel tidak ada produksi entropi internal.
5. Mesin hipotetik yang menghasilkan kerja siklik hanya dengan menyerap kalor dari satu reservoir melanggar hukum kedua.
6. Efisiensi adalah perbandingan kerja bersih yang diperoleh terhadap kalor yang diserap dari reservoir panas.
7. Menggabungkan mesin yang lebih efisien daripada Carnot dengan mesin Carnot terbalik akan menghasilkan pelanggaran pernyataan hukum kedua.
8. Rasio kalor pada mesin Carnot reversibel memberikan dasar skala temperatur yang tidak bergantung pada zat termometrik.
9. Hukum kedua mengubah pembahasan energi dari sekadar jumlah menjadi kualitas dan arah.
10. Gas ideal dapat digunakan sebagai zat kerja untuk menurunkan hubungan Carnot.
11. Pendingin memindahkan kalor dari reservoir dingin ke reservoir panas dengan bantuan kerja.
12. Pompa kalor menggunakan prinsip yang sama dengan pendingin, tetapi manfaat yang dihitung adalah kalor yang dilepas ke reservoir panas.
13. Untuk perubahan reversibel, diferensial entropi didefinisikan sebagai kalor reversibel dibagi temperatur absolut.
14. Dengan membandingkan siklus reversibel dan menggunakan teorema Carnot, integral $\delta q_{\text{rev}}/T$ pada lintasan tertutup sama dengan nol.
15. Untuk siklus apa pun, integral $\delta q/T$ tidak lebih besar dari nol.
16. Kriteria umum proses menyatakan bahwa entropi semesta meningkat untuk proses spontan dan tetap untuk proses reversibel ideal.

LATIHAN BAB

1. Jelaskan konsep arah proses alami dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
2. Bandingkan siklus carnot dengan pernyataan hukum kedua. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?

3. Susun skema atau grafik kualitatif yang dapat digunakan untuk menguji pernyataan hukum kedua secara eksperimen. Jelaskan sumbu, variabel kontrol, dan bentuk data yang diharapkan.
4. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian karakteristik siklus reversibel. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
5. Jelaskan konsep mesin gerak abadi jenis kedua dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
6. Bandingkan efisiensi mesin kalor dengan mesin hipotetik yang tidak mungkin. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
7. Susun skema atau grafik kualitatif yang dapat digunakan untuk menguji mesin hipotetik yang tidak mungkin secara eksperimen. Jelaskan sumbu, variabel kontrol, dan bentuk data yang diharapkan.
8. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian skala temperatur termodinamik. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
9. Jelaskan konsep tinjauan konseptual dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
10. Bandingkan siklus carnot dengan gas ideal dengan mesin pendingin carnot. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
11. Interpretasikan persamaan $COP_R = T_C/(T_H - T_C)$ pada konteks mesin pendingin carnot. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
12. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian pompa kalor. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
13. Jelaskan konsep definisi entropi dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
14. Bandingkan pembuktian umum konsep entropi dengan ketaksamaan clausius. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
15. Interpretasikan persamaan $\oint \delta q/T \leq 0$ pada konteks ketaksamaan clausius. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
16. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian kesimpulan hukum kedua. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
17. Mesin Carnot bekerja antara 600 K dan 300 K. Hitung efisiensi maksimum.
18. Pendingin Carnot bekerja antara 270 K dan 300 K. Hitung COP pendingin.

19. Untuk kondisi yang sama, hitung COP pompa kalor.
20. Sistem menyerap 2,00 kJ kalor secara reversibel pada 400 K. Hitung perubahan entropinya.

JAWABAN DAN PEMBAHASAN LATIHAN BAB

1. Langkah 1 - identifikasi konsep: Banyak proses memiliki arah spontan: panas mengalir dari suhu tinggi ke rendah, gas menyebar, dan gesekan mengubah kerja teratur menjadi energi termal. Arah ini tidak ditentukan oleh konservasi energi saja. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

2. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Siklus Carnot adalah siklus reversibel ideal yang terdiri dari dua langkah isothermal dan dua langkah adiabatik. Siklus ini menetapkan batas atas efisiensi mesin yang bekerja antara dua reservoir temperatur. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Pernyataan Kelvin-Planck melarang mesin siklik yang mengubah seluruh kalor dari satu reservoir menjadi kerja. Pernyataan Clausius melarang perpindahan kalor dari dingin ke panas tanpa efek lain. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

3. Langkah 1 - pilih satu variabel bebas yang dapat diubah secara terkontrol dan satu variabel respons. Langkah 2 - tahan faktor lain yang dapat mengacaukan interpretasi. Langkah 3 - buat grafik dan bandingkan bentuknya dengan prediksi konsep. Berdasarkan uraian inti, Pernyataan Kelvin-Planck melarang mesin siklik yang mengubah seluruh kalor dari satu reservoir menjadi kerja. Pernyataan Clausius melarang perpindahan kalor dari dingin ke panas tanpa efek lain. Penyimpangan harus dianalisis sebagai kemungkinan nonidealitas atau ketidakpastian, bukan langsung dibuang.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

4. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada karakteristik siklus reversibel. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Pada siklus reversibel tidak ada produksi entropi internal. Setiap tahap berlangsung melalui keadaan yang sangat dekat dengan kesetimbangan dan tidak melibatkan gesekan atau gradien hingga.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

5. Langkah 1 - identifikasi konsep: Mesin hipotetik yang menghasilkan kerja siklik hanya dengan menyerap kalor dari satu reservoir melanggar hukum kedua. Larangan ini berbeda dari pelanggaran hukum pertama karena energi total tetap dapat dihitung. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

6. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Efisiensi adalah perbandingan kerja bersih yang diperoleh terhadap kalor yang diserap dari reservoir panas. Mesin reversibel memiliki efisiensi maksimum yang hanya bergantung pada temperatur kedua reservoir. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Menggabungkan mesin yang lebih efisien daripada Carnot dengan mesin Carnot terbalik akan menghasilkan pelanggaran pernyataan hukum kedua. Argumen ini menunjukkan universalitas batas Carnot. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

7. Langkah 1 - pilih satu variabel bebas yang dapat diubah secara terkontrol dan satu variabel respons. Langkah 2 - tahan faktor lain yang dapat mengacaukan interpretasi. Langkah 3 - buat grafik dan bandingkan bentuknya dengan prediksi konsep. Berdasarkan uraian inti, Menggabungkan mesin yang lebih efisien daripada Carnot dengan mesin Carnot terbalik akan menghasilkan pelanggaran pernyataan hukum kedua. Argumen ini menunjukkan universalitas batas Carnot. Penyimpangan harus dianalisis sebagai kemungkinan nonidealitas atau ketidakpastian, bukan langsung dibuang.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

8. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada skala temperatur termodinamik. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Rasio kalor pada mesin Carnot reversibel memberikan dasar skala temperatur yang tidak bergantung pada zat termometrik. Skala Kelvin konsisten dengan konsep ini.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

9. Langkah 1 - identifikasi konsep: Hukum kedua mengubah pembahasan energi dari sekadar jumlah menjadi kualitas dan arah. Energi tetap kekal, tetapi kemampuan energi menghasilkan kerja menurun dalam proses ireversibel. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

10. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Gas ideal dapat digunakan sebagai zat kerja untuk menurunkan hubungan Carnot. Pada langkah isothermal terjadi pertukaran kalor dengan kerja ekspansi atau kompresi, sedangkan pada langkah adiabatik temperatur berubah tanpa kalor. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Pendingin memindahkan kalor dari reservoir dingin ke reservoir panas dengan bantuan kerja. Koefisien prestasi menunjukkan kalor yang dipindahkan dari sisi dingin per satuan kerja. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem

menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

11. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $COP_R = T_C/(T_H - T_C)$ berlaku sebagai representasi mesin pendingin carnot di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

12. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada pompa kalor. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Pompa kalor menggunakan prinsip yang sama dengan pendingin, tetapi manfaat yang dihitung adalah kalor yang dilepas ke reservoir panas. Koefisien prestasinya dapat lebih besar dari satu tanpa melanggar konservasi energi.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

13. Langkah 1 - identifikasi konsep: Untuk perubahan reversibel, diferensial entropi didefinisikan sebagai kalor reversibel dibagi temperatur absolut. Entropi merupakan fungsi keadaan sehingga perubahan totalnya hanya bergantung pada keadaan awal dan akhir. Langkah 2 - tentukan besaran dan kondisi: nyatakan variabel yang relevan serta apa yang dipertahankan tetap. Langkah 3 - interpretasi: hubungkan hasil dengan keadaan sistem dan periksa batas model. Jawaban dianggap lengkap bila tidak hanya mengulang definisi, tetapi juga menerangkan makna fisis serta kondisi penggunaan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

14. Langkah 1 - uraikan pokok pertama: Dengan membandingkan siklus reversibel dan menggunakan teorema Carnot, integral $\delta q_{rev}/T$ pada lintasan tertutup sama dengan nol. Karena itu terdapat fungsi keadaan S yang diferensialnya sama dengan $\delta q_{rev}/T$. Langkah 2 - uraikan pokok kedua: Untuk siklus apa pun, integral $\delta q/T$ tidak lebih besar dari nol. Bentuk ini memisahkan perubahan entropi

sistem dari entropi yang ditransfer bersama kalor dan produksi entropi akibat irreversibilitas. Langkah 3 - bandingkan: keduanya berada dalam satu kerangka bab, tetapi menggunakan variabel, asumsi, atau tujuan analisis yang berbeda. Persamaan keduanya adalah sama-sama menyederhanakan perilaku sistem menjadi hubungan yang dapat diuji; perbedaannya harus dinyatakan pada variabel kendali dan domain penerapan.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

15. Langkah 1 - baca simbol sebagai besaran fisik, bukan sekadar huruf. Langkah 2 - tentukan kecenderungan dengan menahan variabel lain sesuai persamaan. Langkah 3 - cek dimensi pada kedua ruas dan pastikan satuan konsisten. Persamaan $\oint \delta q/T \leq 0$ berlaku sebagai representasi ketaksamaan clausius di bawah asumsi yang sudah dijelaskan pada subbab terkait.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

16. Langkah 1 - tentukan besaran yang diukur pada kesimpulan hukum kedua. Langkah 2 - pilih sumber bias, misalnya kalibrasi sensor, kebocoran, pertukaran kalor, ketidakmurnian, atau waktu menuju kesetimbangan. Langkah 3 - jelaskan apakah bias membuat besaran terbaca terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pembahasan harus mekanistik sehingga dapat ditelusuri kembali ke konsep: Kriteria umum proses menyatakan bahwa entropi semesta meningkat untuk proses spontan dan tetap untuk proses reversibel ideal. Hukum kedua menjadi dasar bagi analisis kesetimbangan dan spontanitas.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

17. $\eta = 1 - T_C/T_H = 1 - 300/600 = 0.50 = 50\%$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

18. $COP_R = T_C/(T_H - T_C) = 270/(300 - 270) = 9.0$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

19. $COP_{HP} = T_H/(T_H - T_C) = 300/30 = 10.0$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

20. $\Delta S = q_{\text{rev}}/T = 2000/400 = 5,00 \text{ J K}^{-1}$.

Pemeriksaan hasil: pastikan satuan akhir sesuai besaran yang diminta, tanda mempunyai makna fisis, dan nilai berada pada orde besaran yang masuk akal. Bila hasil merupakan pendekatan, nyatakan asumsi yang digunakan.

SOAL PENGEMBANGAN

1. Rancang eksperimen atau simulasi sederhana untuk menguji salah satu hubungan utama pada Bab 8. Tentukan variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, dan kriteria kualitas data.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

2. Pilih dua subbab pada Bab 8 yang tampak terpisah. Tunjukkan hubungan konseptual atau matematis di antara keduanya dengan diagram alur dan penjelasan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

3. Cari satu kondisi ketika model sederhana pada bab ini tidak lagi memadai. Jelaskan gejala penyimpangannya dan jenis model atau koreksi yang diperlukan.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

4. Susun satu masalah terbuka yang memiliki lebih dari satu cara penyelesaian. Bandingkan kelebihan dan keterbatasan tiap cara dari sisi data yang dibutuhkan dan asumsi.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban

pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

5. Buat peta konsep satu halaman yang menghubungkan definisi, persamaan, grafik, contoh eksperimen, dan sumber ketidakpastian utama pada bab ini.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

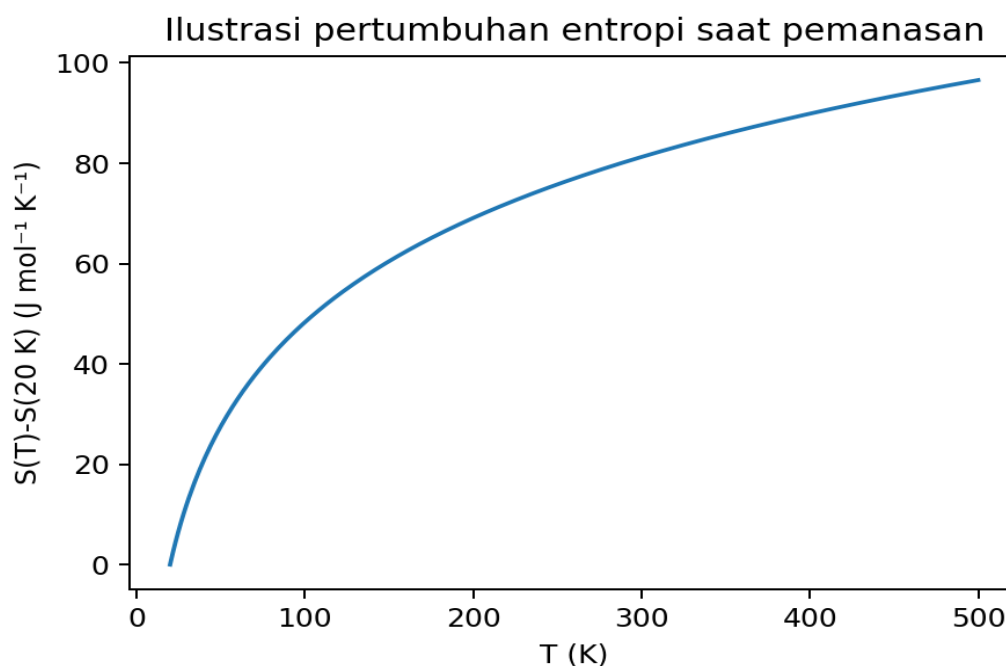
9

BAB 9. ENTROPI DAN HUKUM KETIGA TERMODINAMIKA

Entropi dapat dihitung dari sifat terukur, digunakan untuk menganalisis kestabilan, dan dihubungkan dengan jumlah keadaan mikroskopik. Hukum ketiga memberikan acuan entropi absolut dan memperkuat hubungan antara termodinamika dengan statistik.

9.0 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. menjelaskan konsep inti yang membentuk entropi dan hukum ketiga secara konsisten dengan definisi termodinamika dan kimia fisika;
2. menggunakan persamaan dasar dengan satuan yang benar serta menyatakan asumsi dan kendala proses;
3. menafsirkan grafik, tabel, dan hasil perhitungan dari sudut pandang fisik, bukan hanya aljabar;
4. menganalisis keterbatasan model ideal dan menghubungkannya dengan perilaku sistem nyata;
5. menyelesaikan soal konseptual dan numerik secara bertahap dengan pemeriksaan dimensi dan kewajaran hasil.



Gambar 9.1. Ilustrasi konseptual untuk entropi dan hukum ketiga.

9.1 SIFAT-SIFAT ENTROPI

Entropi adalah fungsi keadaan ekstensif dan aditif untuk subsistem independen. Dalam sistem terisolasi, perubahan spontan meningkatkan entropi hingga maksimum yang sesuai dengan kendala sistem. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, sifat-sifat entropi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, sifat-sifat entropi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan

fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas sifat-sifat entropi, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

9.2 KESTABILAN TERMAL DAN MEKANIK

Kestabilan menuntut respons yang tidak memperbesar gangguan kecil. Kapasitas kalor dan kompresibilitas yang positif merupakan contoh kondisi kestabilan untuk sistem sederhana. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, kestabilan termal dan mekanik harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $C_V > 0$; $\kappa_T > 0$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, kestabilan termal dan mekanik menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$C_V > 0; \kappa_T > 0$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas kestabilan termal dan mekanik. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

9.3 PERUBAHAN ENTROPI PADA PROSES ISOTERMAL

Untuk perubahan isothermal reversibel gas ideal, perubahan entropi berhubungan dengan rasio volume atau tekanan. Ekspansi meningkatkan entropi karena jumlah konfigurasi ruang yang dapat diakses bertambah. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, perubahan entropi pada proses isothermal harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta S = nR \ln(V_2/V_1) = -nR \ln(p_2/p_1)$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial,

subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, perubahan entropi pada proses isothermal menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta S = nR \ln(V_2/V_1) = -nR \ln(p_2/p_1)$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas perubahan entropi pada proses isothermal. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas perubahan entropi pada proses isothermal, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

9.3.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan perubahan entropi pada proses isothermal. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah

memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

9.4 DIFERENSIAL EKSAK DAN ATURAN SIKLIK

Sifat diferensial fungsi keadaan menghasilkan hubungan turunan parsial yang berguna. Aturan siklik menghubungkan tiga turunan parsial dari variabel yang saling bergantung. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, diferensial eksak dan aturan siklik harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $(\partial x / \partial y)_z (\partial y / \partial z)_x (\partial z / \partial x)_y = -1$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, diferensial eksak dan aturan siklik menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$(\partial x / \partial y)_z (\partial y / \partial z)_x (\partial z / \partial x)_y = -1$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas diferensial eksak dan aturan siklik. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

9.5 ENTROPI SEBAGAI FUNGSI VARIABEL KEADAAN

Karena S merupakan fungsi keadaan, diferensialnya dapat dinyatakan dalam pasangan variabel yang sesuai. Hubungan fundamental termodinamika memungkinkan turunan entropi diganti dengan besaran terukur seperti kapasitas kalor dan koefisien ekspansi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, entropi sebagai fungsi variabel keadaan harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Walaupun pokok bahasan ini tidak selalu diringkas oleh satu persamaan tunggal, analisis kuantitatif tetap dapat dilakukan melalui definisi operasional, neraca, grafik, atau hubungan diferensial. Langkah yang baik adalah menentukan sistem, mengidentifikasi besaran yang relevan, memilih satuan konsisten, lalu menilai apakah perubahan yang diamati sejalan dengan kecenderungan teoritis.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, entropi sebagai fungsi variabel keadaan menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas entropi sebagai fungsi variabel keadaan, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

9.6 ENTROPI SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR DAN VOLUME

Untuk sistem sederhana, dS dapat ditulis dalam T dan V . Suku temperatur melibatkan C_V/T , sedangkan suku volume dapat dihubungkan dengan turunan tekanan terhadap temperatur. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, entropi sebagai fungsi temperatur dan volume harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola

eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $dS = (C_V/T)dT + (\partial p/\partial T)_V dV$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, entropi sebagai fungsi temperatur dan volume menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$dS = (C_V/T)dT + (\partial p/\partial T)_V dV$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas entropi sebagai fungsi temperatur dan volume. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

9.6.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan entropi sebagai fungsi temperatur dan volume. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah

memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

9.7 ENTROPI SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR DAN TEKANAN

Dalam variabel T dan p , suku temperatur melibatkan C_p/T dan suku tekanan terkait koefisien muai termal. Bentuk ini sangat berguna untuk fase terkondensasi pada tekanan yang terkontrol. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, entropi sebagai fungsi temperatur dan tekanan harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $dS = (C_p/T)dT - (\partial V/\partial T)_p dp$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, entropi sebagai fungsi temperatur dan tekanan menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$dS = (C_p/T)dT - (\partial V/\partial T)_p dp$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas entropi sebagai fungsi temperatur dan tekanan. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas entropi sebagai fungsi temperatur dan tekanan, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

9.8 KETERGANTUNGAN ENTROPI PADA TEMPERATUR

Pada pemanasan reversibel, perubahan entropi diperoleh dengan mengintegrasikan kapasitas kalor dibagi temperatur. Jika terjadi perubahan fase, kontribusi $\Delta H_{\text{trans}}/T_{\text{trans}}$ harus ditambahkan. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, ketergantungan entropi pada temperatur harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola

eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta S = \int (C_p/T) dT + \sum \Delta H_{tr}/T_{tr}$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, ketergantungan entropi pada temperatur menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta S = \int (C_p/T) dT + \sum \Delta H_{tr}/T_{tr}$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas ketergantungan entropi pada temperatur. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

9.9 PERUBAHAN ENTROPI GAS IDEAL

Untuk gas ideal, perubahan entropi dapat dihitung dari perubahan temperatur bersama volume atau tekanan. Persamaan ini memisahkan kontribusi pemanasan dari kontribusi ekspansi atau kompresi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti

pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, perubahan entropi gas ideal harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta S = nC_V \ln(T_2/T_1) + nR \ln(V_2/V_1)$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, perubahan entropi gas ideal menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta S = nC_V \ln(T_2/T_1) + nR \ln(V_2/V_1)$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas perubahan entropi gas ideal. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas perubahan entropi gas ideal, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

9.9.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan perubahan entropi gas ideal. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu- x dan variabel respons pada sumbu- y . Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

9.10 HUKUM KETIGA TERMODINAMIKA

Hukum ketiga menyatakan bahwa entropi kristal sempurna mendekati nilai nol saat temperatur mendekati nol Kelvin. Prinsip ini menyediakan acuan untuk menghitung entropi molar absolut dari data kapasitas kalor dan transisi fase. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, hukum ketiga termodinamika harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $S(0\text{ K}) = 0$ untuk kristal sempurna. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, hukum ketiga termodinamika menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$S(0\text{ K}) = 0 \text{ untuk kristal sempurna}$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas hukum ketiga termodinamika. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

9.11 ENTROPI REAKSI KIMIA

Perubahan entropi standar reaksi dihitung dari entropi molar standar produk dikurangi pereaksi dengan koefisien stoikiometri. Tanda perubahan dipengaruhi jumlah dan jenis fase serta derajat penyebaran energi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang

dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, entropi reaksi kimia harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta_r S^\circ = \sum \nu S^\circ_{\text{produk}} - \sum \nu S^\circ_{\text{pereaksi}}$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, entropi reaksi kimia menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta_r S^\circ = \sum \nu S^\circ_{\text{produk}} - \sum \nu S^\circ_{\text{pereaksi}}$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas entropi reaksi kimia. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas entropi reaksi kimia, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

9.12 ENTROPI DAN PROBABILITAS

Interpretasi statistik menghubungkan entropi dengan banyaknya mikrostate yang kompatibel dengan makrostate. Makrostate yang dapat diwujudkan oleh lebih banyak mikrostate memiliki probabilitas lebih tinggi dan entropi lebih besar. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, entropi dan probabilitas harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $S = k \ln \Omega$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting.

Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, entropi dan probabilitas menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$S = k \ln \Omega$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas entropi dan probabilitas. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

9.12.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan entropi dan probabilitas. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

9.13 BENTUK UMUM JUMLAH MIKROSTATE Ω

Jumlah mikrostata sering dihitung dengan kombinatorika ketika partikel atau kuantum energi didistribusikan ke keadaan yang tersedia. Pendekatan ini menjelaskan munculnya entropi pencampuran dan distribusi kesetimbangan. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu

mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, bentuk umum jumlah mikrostata ω harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Omega = W!/(N_1!N_2!\dots)$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, bentuk umum jumlah mikrostata ω menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Omega = W!/(N_1!N_2!\dots)$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas bentuk umum jumlah mikrostata ω . Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas bentuk umum jumlah mikrostase ω , bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

9.14 DISTRIBUSI ENERGI

Maksimisasi jumlah mikrostase di bawah kendala energi dan jumlah partikel menghasilkan distribusi Boltzmann. Distribusi ini menghubungkan termodinamika dengan statistik keadaan mikroskopik. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, distribusi energi harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $P_i \propto g_i \exp(-E_i/kT)$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting.

Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, distribusi energi menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$P_i \propto g_i \exp(-E_i/kT)$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas distribusi energi. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

9.15 ENTROPI PENCAMPURAN DAN PENGECEUALIAN HUKUM KETIGA

Pencampuran gas ideal berbeda jenis meningkatkan entropi karena jumlah cara penempatan partikel bertambah. Pada kristal dengan ketidakteraturan residual, entropi pada temperatur sangat rendah dapat tidak tepat nol karena terdapat degenerasi orientasi atau konfigurasi. Dalam konteks Kimia Fisika 1, pokok bahasan ini penting karena menautkan fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, entropi pencampuran dan pengecualian hukum ketiga harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $\Delta S_{\text{mix}} = -R \sum_i x_i \ln x_i$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

Batas model perlu dinyatakan secara eksplisit. Model sederhana biasanya bekerja paling baik pada rentang keadaan tertentu dan dapat gagal ketika interaksi antarmolekul, perubahan fase, kuantisasi, atau gradien besar menjadi penting. Menggunakan persamaan di luar domainnya dapat menghasilkan angka yang tampak rapi tetapi tidak memiliki makna fisis. Karena itu, selalu bandingkan skala besaran, kondisi percobaan, dan asumsi yang digunakan.

Keterkaitan konsep ini dengan bagian lain bersifat kuat. Pada bab ini, entropi pencampuran dan pengecualian hukum ketiga menjadi satu simpul yang membantu membangun pemahaman mengenai fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Ketika berpindah ke bagian berikutnya, pertanyaan yang perlu dibawa adalah: besaran mana yang merupakan fungsi keadaan, hubungan mana yang hanya berlaku untuk lintasan tertentu, dan bukti eksperimen apa yang dapat digunakan untuk menguji model tersebut?

$$\Delta S_{\text{mix}} = -R \sum n_i x_i \ln x_i$$

Persamaan di atas digunakan sebagai bentuk ringkas untuk membahas entropi pencampuran dan pengecualian hukum ketiga. Interpretasi simbol harus mengikuti definisi pada paragraf sebelumnya dan satuan yang konsisten.

CATATAN KONSEPTUAL

Ketika membahas entropi pencampuran dan pengecualian hukum ketiga, bedakan dengan tegas antara definisi, hubungan empiris, dan konsekuensi model. Nilai suatu besaran baru bermakna setelah keadaan sistem, satuan, serta kondisi proses disebutkan. Kesalahan yang sering terjadi adalah menggunakan persamaan yang benar pada kendala yang salah.

9.15.A CONTOH ANALISIS

Sebagai latihan penalaran, bayangkan satu sistem yang mula-mula berada pada keadaan terukur kemudian mengalami perubahan yang berkaitan dengan entropi pencampuran dan pengecualian hukum ketiga. Langkah pertama adalah menuliskan keadaan awal dan akhir. Langkah kedua adalah memilih hubungan yang mempertahankan variabel sesuai deskripsi proses. Langkah ketiga adalah memeriksa apakah perubahan tanda, orde besaran, dan satuan konsisten dengan interpretasi fisik. Cara ini lebih aman daripada langsung memasukkan angka ke dalam rumus tanpa mendefinisikan sistem.

Apabila data eksperimen tersedia, buat grafik dengan variabel bebas pada sumbu-x dan variabel respons pada sumbu-y. Bandingkan bentuk grafik dengan prediksi model. Penyimpangan yang sistematis dapat menunjukkan keterbatasan model, sedangkan sebaran acak di sekitar kecenderungan teoritis lebih sering berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran. Kesimpulan yang baik selalu memisahkan fakta data dari interpretasi teoritis.

Tabel 9.1. Besaran dan hubungan kunci pada Bab 9.

Konsep	Rumus	Makna
Entropi isothermal gas ideal	$nR \ln(V_2/V_1)$	perubahan konfigurasi ruang
Pemanasan pada p tetap	$nC_p \ln(T_2/T_1)$	perubahan penyebaran energi
Entropi statistik	$k \ln \Omega$	hubungan makro-mikro
Entropi reaksi standar	$\sum \nu S^\circ$	perbedaan entropi produk-pereaksi
Entropi pencampuran	$-R \sum n_i x_i \ln x_i$	penyebaran komponen

9.A STUDI KASUS TERPADU

Studi kasus pada bab ini dirancang untuk menghubungkan beberapa subtopik sekaligus. Misalkan sebuah sistem laboratorium dipantau melalui tekanan, temperatur, volume, atau komposisinya sesuai topik entropi dan hukum ketiga. Data awal diperoleh dari alat yang memiliki resolusi terbatas. Mahasiswa diminta menentukan model paling sederhana yang sesuai, melakukan perhitungan, lalu menilai apakah hasil masih berada pada domain asumsi model.

Analisis harus dimulai dari identifikasi sistem dan batas. Tuliskan besaran yang bersifat ekstensif dan intensif, kemudian tentukan variabel yang dikendalikan. Setelah persamaan dipilih, semua data dikonversi ke satuan yang konsisten. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan kecenderungan fisis: apakah tekanan seharusnya meningkat atau menurun, apakah energi masuk atau keluar, dan apakah perubahan yang diprediksi realistis terhadap skala eksperimen.

Tahap terakhir adalah evaluasi ketidakpastian dan asumsi. Bila hasil menyimpang dari prediksi, jangan langsung menyebut kesalahan manusia. Tanyakan apakah ada kebocoran, pertukaran kalor, nonidealitas, keterlambatan sensor, perubahan fase, atau asumsi kesetimbangan yang tidak terpenuhi. Pendekatan ini melatih pemikiran kimia fisika yang dapat dipertanggungjawabkan dan dapat diterapkan pada eksperimen maupun simulasi.

CONTOH SOAL TERBIMBING

Contoh 1. Satu mol gas ideal berekspansi isothermal reversibel hingga volumenya dua kali lipat. Hitung ΔS .

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $\Delta S = nR \ln 2 = 8,314 \times \ln 2 = 5.763 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

Contoh 2. Satu mol gas ideal dipanaskan pada tekanan tetap dari 300 K ke 400 K dengan $C_p = 29,1 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Hitung ΔS .

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - tetapkan sistem, data, dan satuan. Tuliskan semua data yang diketahui dalam satuan yang saling konsisten. Tentukan besaran yang dicari dan periksa apakah proses yang dimaksud sesuai dengan model yang akan dipakai. Langkah ini penting karena banyak kesalahan kimia fisika berasal dari pemilihan persamaan yang benar tetapi pada kondisi yang salah.

Langkah 2 - pilih hubungan matematis dan lakukan substitusi. $\Delta S = C_p \ln(T_2/T_1) = 29,1 \ln(400/300) = 8.37 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Tunjukkan operasi aljabar secara berurutan sehingga satuan dapat dilacak. Jika terdapat logaritma, rasio yang masuk ke logaritma harus tak berdimensi; jika terdapat temperatur pada persamaan termodinamika, gunakan Kelvin kecuali dinyatakan lain.

Langkah 3 - validasi hasil. Bandingkan tanda dan orde besaran dengan kecenderungan fisis yang diprediksi. Nilai numerik yang diperoleh harus dibaca bersama asumsi model, angka penting, serta keterbatasan data. Kesimpulan akhir bukan hanya angka, tetapi pernyataan tentang apa arti angka tersebut bagi keadaan sistem.

dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Karena S merupakan fungsi keadaan, diferensialnya dapat dinyatakan dalam pasangan variabel yang sesuai. Hubungan fundamental termodinamika memungkinkan turunan entropi diganti dengan besaran terukur seperti kapasitas kalor dan koefisien ekspansi. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan representasi yang sesuai. Karena konsep ini tidak selalu bergantung pada satu persamaan tunggal, gunakan definisi operasional, neraca, atau grafik untuk menyusun prediksi. Nyatakan dengan jelas kondisi yang ditahan tetap dan buat kriteria kuantitatif sederhana, misalnya gradien, intersep, rasio, atau perubahan relatif.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada entropi sebagai fungsi variabel keadaan dan pada tema bab, yaitu fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 6. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan entropi sebagai fungsi temperatur dan volume. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Untuk sistem sederhana, dS dapat ditulis dalam T dan V . Suku temperatur melibatkan C_V/T , sedangkan suku volume dapat dihubungkan dengan turunan tekanan terhadap temperatur. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang

bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $dS = (C_V/T)dT + (\partial p/\partial T)_V dV$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada entropi sebagai fungsi temperatur dan volume dan pada tema bab, yaitu fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 7. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan entropi sebagai fungsi temperatur dan tekanan. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Dalam variabel T dan p , suku temperatur melibatkan C_p/T dan suku tekanan terkait koefisien muai termal. Bentuk ini sangat berguna untuk fase terkondensasi pada tekanan yang terkontrol. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $dS = (C_p/T)dT - (\partial V/\partial T)_p dp$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada entropi sebagai fungsi temperatur dan tekanan dan pada tema bab, yaitu fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

Contoh 8. Sebuah kelompok mahasiswa mengumpulkan data yang berkaitan dengan ketergantungan entropi pada temperatur. Susun cara analisis yang dapat membedakan antara kecenderungan teoritis, penyimpangan sistematis, dan variasi acak pada data.

Penyelesaian terbimbing

Langkah 1 - identifikasi konsep. Pada pemanasan reversibel, perubahan entropi diperoleh dengan mengintegrasikan kapasitas kalor dibagi temperatur. Jika terjadi perubahan fase, kontribusi $\Delta H_{\text{trans}}/T_{\text{trans}}$ harus ditambahkan. Dari uraian ini, tentukan variabel yang secara langsung merepresentasikan keadaan sistem dan variabel yang dapat dikendalikan. Bila ada beberapa besaran, tuliskan mana yang bersifat intensif, mana yang ekstensif, serta hubungan kualitatif yang diharapkan ketika salah satunya diubah.

Langkah 2 - gunakan model. Hubungan ringkas yang relevan adalah $\Delta S = \int (C_p/T) dT + \sum \Delta H_{\text{tr}}/T_{\text{tr}}$. Jangan segera memasukkan angka. Susun terlebih dahulu bentuk persamaan untuk besaran yang hendak dianalisis, cek dimensi, dan tentukan bentuk grafik yang akan menghasilkan kecenderungan paling mudah dinilai. Grafik yang baik harus menyebutkan satuan pada setiap sumbu dan membedakan data pengukuran dari garis model.

Langkah 3 - evaluasi mutu data. Penyimpangan yang berubah teratur terhadap variabel bebas mengindikasikan bias sistematis atau keterbatasan model; sebaran acak di sekitar kecenderungan lebih dekat dengan ketidakpastian acak. Jangan menghapus data hanya karena tidak sesuai teori. Catat kondisi eksperimen, periksa kalibrasi, dan jelaskan bagaimana setiap sumber kesalahan dapat menggeser hasil.

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada ketergantungan entropi pada temperatur dan pada tema bab, yaitu fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Kesimpulan harus menyatakan apakah data

Langkah 4 - simpulkan secara fisik. Hubungkan hasil kembali pada entropi dan probabilitas dan pada tema bab, yaitu fungsi keadaan entropi serta interpretasi statistiknya. Kesimpulan harus menyatakan apakah data mendukung kecenderungan yang diharapkan, seberapa kuat bukti tersebut, dan apa asumsi yang paling menentukan keandalan interpretasi.

9.B RANGKUMAN

1. Entropi adalah fungsi keadaan ekstensif dan aditif untuk subsistem independen.
2. Kestabilan menuntut respons yang tidak memperbesar gangguan kecil.
3. Untuk perubahan isothermal reversibel gas ideal, perubahan entropi berhubungan dengan rasio volume atau tekanan.
4. Sifat diferensial fungsi keadaan menghasilkan hubungan turunan parsial yang berguna.
5. Karena S merupakan fungsi keadaan, diferensialnya dapat dinyatakan dalam pasangan variabel yang sesuai.
6. Untuk sistem sederhana, dS dapat ditulis dalam T dan V .
7. Dalam variabel T dan p , suku temperatur melibatkan C_p/T dan suku tekanan terkait koefisien muai termal.
8. Pada pemanasan reversibel, perubahan entropi diperoleh dengan mengintegrasikan kapasitas kalor dibagi temperatur.
9. Untuk gas ideal, perubahan entropi dapat dihitung dari perubahan temperatur bersama volume atau tekanan.
10. Hukum ketiga menyatakan bahwa entropi kristal sempurna mendekati nilai nol saat temperatur mendekati nol Kelvin.
11. Perubahan entropi standar reaksi dihitung dari entropi molar standar produk dikurangi pereaksi dengan koefisien stoikiometri.
12. Interpretasi statistik menghubungkan entropi dengan banyaknya mikrostate yang kompatibel dengan makrostate.
13. Jumlah mikrostate sering dihitung dengan kombinatorika ketika partikel atau kuantum energi didistribusikan ke keadaan yang tersedia.
14. Maksimisasi jumlah mikrostate di bawah kendala energi dan jumlah partikel menghasilkan distribusi Boltzmann.
15. Pencampuran gas ideal berbeda jenis meningkatkan entropi karena jumlah cara penempatan partikel bertambah.

LATIHAN BAB

1. Jelaskan konsep sifat-sifat entropi dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
2. Bandingkan kestabilan termal dan mekanik dengan perubahan entropi pada proses isothermal. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
3. Interpretasikan persamaan $\Delta S = nR \ln(V_2/V_1) = -nR \ln(p_2/p_1)$ pada konteks perubahan entropi pada proses isothermal. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
4. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian diferensial eksak dan aturan siklik. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
5. Jelaskan konsep entropi sebagai fungsi variabel keadaan dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
6. Bandingkan entropi sebagai fungsi temperatur dan volume dengan entropi sebagai fungsi temperatur dan tekanan. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
7. Interpretasikan persamaan $dS = (C_p/T)dT - (\partial V/\partial T)_p dp$ pada konteks entropi sebagai fungsi temperatur dan tekanan. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
8. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian ketergantungan entropi pada temperatur. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
9. Jelaskan konsep perubahan entropi gas ideal dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.
10. Bandingkan hukum ketiga termodinamika dengan entropi reaksi kimia. Apa persamaan dan perbedaan peran keduanya dalam analisis Kimia Fisika 1?
11. Interpretasikan persamaan $\Delta_r S^\circ = \sum \nu S^\circ_{\text{produk}} - \sum \nu S^\circ_{\text{pereaksi}}$ pada konteks entropi reaksi kimia. Jelaskan arti setiap besaran, arah kecenderungan, serta pemeriksaan satuannya.
12. Analisis satu sumber kesalahan eksperimen yang dapat memengaruhi kajian entropi dan probabilitas. Jelaskan mekanisme kesalahan dan arah pengaruhnya terhadap hasil.
13. Jelaskan konsep bentuk umum jumlah mikrostata ω dengan menekankan definisi, besaran yang terlibat, dan satu kondisi penerapannya.

yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

4. Susun satu masalah terbuka yang memiliki lebih dari satu cara penyelesaian. Bandingkan kelebihan dan keterbatasan tiap cara dari sisi data yang dibutuhkan dan asumsi.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

5. Buat peta konsep satu halaman yang menghubungkan definisi, persamaan, grafik, contoh eksperimen, dan sumber ketidakpastian utama pada bab ini.

Arah penyelesaian: mulai dari definisi sistem, pilih konsep dan persamaan yang relevan, jelaskan asumsi, rancang cara memperoleh data, lalu tentukan kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah hasil mendukung model. Jawaban pengembangan dinilai dari koherensi argumen, keterlacakan langkah, dan ketepatan konsep, bukan dari satu angka akhir.

dengan besaran yang dapat diukur. Pemahaman tidak cukup berhenti pada definisi; mahasiswa perlu mengenali variabel yang dikendalikan, variabel yang berubah, serta kondisi yang membuat model tersebut sah digunakan.

Secara fisis, vektor dan matriks dasar harus dibaca sebagai hubungan antara keadaan sistem dan responsnya terhadap suatu perubahan. Besaran makroskopik seperti tekanan, volume, temperatur, energi, atau komposisi merupakan hasil kolektif dari sangat banyak partikel. Karena itu, persamaan yang digunakan tidak sekadar aturan hitung, melainkan representasi ringkas dari pola eksperimen dan asumsi model. Saat suatu variabel diubah, perubahan variabel lain harus dianalisis dengan menyatakan apa yang dipertahankan konstan.

Representasi matematis yang sering digunakan pada bagian ini adalah $A v = \lambda v$. Setiap simbol harus dibaca bersama satuannya dan kondisi penerapannya. Pemeriksaan dimensi merupakan langkah cepat untuk mendeteksi kesalahan substitusi. Jika persamaan memuat rasio atau logaritma, argumen yang digunakan harus tak berdimensi; jika memuat turunan parsial, subskrip menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

$$A v = \lambda v$$

sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

$$[\text{energi}] = M L^2 T^{-2}$$

menunjukkan variabel yang dipertahankan tetap. Prinsip ini akan terus digunakan pada bab-bab termodinamika.

Dari sudut eksperimen, hasil yang baik memerlukan pengukuran berulang, pencatatan kondisi lingkungan, dan penilaian ketidakpastian. Kesalahan sistematik dapat menggeser seluruh hasil ke satu arah, sedangkan variasi acak terutama memengaruhi presisi. Grafik sering lebih informatif daripada satu angka karena dapat memperlihatkan linearitas, kelengkungan, titik kritis, atau penyimpangan dari model ideal.

$$pV=nRT; C_p-C_v=R$$

