Keselamatan dan Keamanan Laboratorium Kimia

Panduan Pengelolaan Bahan Kimia dengan Bijak

Lisa Moran dan Tina Masciangioli, *Editors*

Komite Pendorong Pengelolaan Zat Kimia
dengan Selamat dan Aman di Negara Berkembang

Dewan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kimia
Divisi Penelitian tentang Bumi dan Kehidupan

NATIONAL RESEARCH COUNCIL
OF THE NATIONAL ACADEMIES

THE NATIONAL ACADEMIES PRESS
Washington, DC 2010
www.nap.edu

Ucapan Terima Kasih untuk Komite Penulisan

Komite Pendorong Pengelolaan Zat Kimia dengan Selamat dan Aman di Negara Berkembang
Dari Pakistan: M. IQBAL CHOUDHARY, University of Karachi
Dari Filipina: PATRICK J. Y. LIM, University of San Carlos, Cebu City
Dari Amerika Serikat: NED D. HEINDEL (Ketua), Lehigh University, Bethlehem, PA; CHARLES BARTON, Konsultan Independen, San Ramone, CA; JANET S. BAUM, Konsultan Independen, University City, MO; APURBA BHATTACHARYA, Texas A&M University, Kingsville; CHARLES P. CASEY, University of Wisconsin, Madison*; MARK C. CESA, INEOS USA, LLC, Naperville, IL; ROBERT H. HILL, Battelle Memorial Institute, Atlanta, GA; ROBIN M. IZZO, Princeton University, NJ: RUSSELL W. PHIFER, WC Environmental, LLC, West Chester, PA; MILDRED Z. SOLOMON, Harvard Medical School, Boston, MA; JAMES M. SOLYST, ENVIRON, Arlington, VA; USHA WRIGHT, O'Brien & Gere, Syracuse, NY.
*Anggota, U.S. National Academy of Sciences

Staf NCR: Tina Masciangioli, Direktur Penelitian; Sheena Siddiqui, Asisten Penelitian; Kathryn Hughes, Petugas Program; dan Lisa Moran, Konsultan Penulis Ilmiah.

Kajian ini didanai dengan hibah nomor S-LMAQM-08-CA-140 dari Departemen Luar Negeri AS. Pendapat, temuan dan kesimpulan yang dinyatakan di sini adalah milik penulis dan tidak selalu mencerminkan pendapat, temuan dan kesimpulan Departemen Luar Negeri AS.

Kami juga sangat berterima kasih kepada individu dan organisasi berikut yang telah menelaah materi ini: Temechegn Engida, Addis Ababa, Ethiopia; Mohammed El-Khateeb, Jordan University of Science and Technology; Alastair Hay, University of Leeds, Inggris; Pauline Ho, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico, Amerika Serikat; Supawan Tantayanon, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand; Khalid Riffi Temsamani, University Abdelmalek Essâadi, Tétouan-Morocco; dan Erik W. Thulstrup, Varlose, Denmark.

Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Muhamad A. Martoprawiro, Ketua Umum Himpunan Kimia Indonesia, karena berkenan mereview terjemahan dokumen ini dari bahasa Inggris.

twas
The Academy of Sciences for the Developing World

International Year of CHEMISTRY 2011

International Union of Pure and Applied Chemistry

Salinan tambahan buku ini tersedia secara gratis di Internet di alamat **www.nas.edu/bcst**.

Dicetak di Amerika Serikat.
Hak cipta 2010 oleh National Academy of Sciences. Semua hak dilindungi undang-undang.

Tata letak dan desain buku oleh Sharon Martin; desain sampul oleh Van Nguyen.

THE NATIONAL ACADEMIES

Advisers to the Nation on Science, Engineering, and Medicine

National Academy of Sciences adalah komunitas terpelajar yang bergerak di bidang swasta, nirlaba, dan mengaktualisasikan diri dalam penelitian ilmiah dan rekayasa, yang didedikasikan untuk masa depan ilmu pengetahuan dan teknologi serta penggunaannya demi kesejahteraan bersama. Terkait dengan wewenang yang tertuang dalam piagam yang diberikan oleh Kongres di tahun 1863, NAS memiliki tugas yang mengharuskannya memberikan saran tentang masalah ilmiah dan teknis kepada pemerintah federal. Dr. Ralph J. Cicerone adalah presiden National Academy of Sciences.

National Academy of Engineering didirikan pada tahun 1964, berdasarkan piagam National Academy of Sciences, sebagai organisasi paralel yang beranggotakan insinyur terkemuka. Administrasi organisasi ini dan pemilihan anggotanya bersifat independen, serta berbagi tanggung jawab dalam memberikan saran kepada pemerintah federal dengan National Academy of Sciences. National Academy of Engineering juga mensponsori program rekayasa yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan nasional, mendorong pendidikan dan penelitian, serta mengakui prestasi luar biasa dari para insinyur. Dr. Wm. A. Wulf adalah presiden National Academy of Engineering.

Institute of Medicine didirikan pada tahun 1970 oleh National Academy of Sciences untuk menjamin layanan anggota berkualitas dengan profesi yang sesuai dalam pemeriksaan masalah kebijakan mengenai kesehatan masyarakat. IM bekerja sesuai tanggung jawab yang dipercayakan kepada National Academy of Sciences oleh piagam kongres untuk menjadi penasihat pemerintah federal dan, berdasarkan inisiatifnya sendiri, mengidentifikasi masalah perawatan, penelitian, dan pendidikan kesehatan. Dr. Harvey V. Fineberg adalah presiden dari Institute of Medicine.

National Research Council dibentuk oleh National Academy of Sciences pada tahun 1916 untuk menyatukan komunitas IPTEK yang luas dengan tujuan untuk memajukan pengetahuan dan memberikan saran kepada pemerintah federal. Dengan bekerja menurut kebijakan umum yang ditentukan oleh NAS, NRC menjadi agensi pelaksana utama dari National Academy of Sciences dan National Academy of Engineering dalam memberikan layanan kepada pemerintah, masyarakat, serta komunitas ilmuwan dan insinyur. NRC dikelola bersama oleh NAS, NAE dan Institute of Medicine. Dr. Ralph J. Cicerone dan Dr. Wm. A. Wulf masing-masing adalah ketua dan wakil ketua dari National Research Council.

Kata Pengantar

Seiring dengan semakin kompetitifnya perekonomian negara-negara berkembang dan semakin bertambahnya upaya untuk meningkatkan kapasitas dalam ilmu kimia, mereka menghadapi banyak tantangan dalam meningkatkan keselamatan dan keamanan laboratorium. Praktik keselamatan dan keamanan dimaksudkan untuk membantu laboratorium melaksanakan fungsi utama mereka dengan cara yang efisien, selamat dan aman. Sayangnya, peningkatan keselamatan dan keamanan sering kali dianggap terlalu menantang, namun kurangnya pemahaman prosedur keselamatan dan keamanan, rintangan budaya, dan kendala dana bisa diatasi dengan mudah. Kemajuan pada prosedur keselamatan dan keamanan yang baik pada akhirnya akan berpengaruh pada peningkatan produktivitas, efisiensi, penghematan, dan yang terpenting, kecanggihan dan kerja sama yang lebih baik. Karena alasan inilah, U.S. National Research Council diminta untuk memberikan panduan kepada laboratorium di negara-negara berkembang tentang praktik yang selamat dan aman dalam menangani dan menyimpan bahan kimia berbahaya.

Komite khusus yang terdiri dari ahli di bidang kimia sintesis organik, kimia farmasi dan pemrosesan; keselamatan, keamanan dan pengelolaan bahan kimia; dan pendidikan kimia serta perubahan perilaku, mempelajari tantangan terhadap dan perlunya peningkatan praktik keselamatan laboratorium di negara-negara berkembang. Yang ditekankan dalam keseluruhan penelitian itu adalah pemahaman tentang keadaan sosial ekonomi dan budaya negara berkembang. Penemuan komite tersebut tercermin dalam buku ini, yang didasarkan pada penelitian tentang *Mendorong Keselamatan dan Keamanan Laboratorium Kimia di Negara-Negara Berkembang,* serta buku rujukan yang terus dikembangkan tentang keselamatan laboratorium kimia di Amerika Serikat, *Praktik Bijak di Laboratorium: Penanganan dan Manajemen Bahaya Bahan Kimia*.

Setiap hari, kimiawan di seluruh dunia bekerja di laboratorium dengan bahan kimia berbahaya. Umumnya, mereka juga mematuhi prosedur yang diperlukan untuk menangani dan membuang bahan kimia tersebut dengan aman. Besar harapan kami bahwa buku ini beserta materi yang menyertai bisa membantu kimiawan di negara berkembang untuk memperbaiki tingkat keselamatan dan keamanan di lab mereka melalui peningkatan manajemen bahan kimia dan dengan mengikuti praktik laboratorium terbaik yang mungkin dilakukan.

Buku ini beserta materi yang menyertai bersumber dari dua laporan National Research Council:

1. *Praktik Bijak di Laboratorium: Penanganan dan Manajemen Bahaya Bahan Kimia,* yang disajikan sebagai buku referensi yang terus dikembangkan tentang keselamatan laboratorium kimia di Amerika Serikat dan disiapkan oleh Komite Praktik Bijak di Laboratorium: Edisi Revisi; dan
2. *Mendorong Keselamatan dan Keamanan Laboratorium Kimia di Negara Berkembang,* yang disiapkan oleh Komite Pendorong Pengelolaan Bahan Kimia dengan Selamat dan Aman di Negara Berkembang.

Kedua buku tersedia di Internet melalui National Academies Press di *www.nap.edu*

Isi

Ringkasan Eksekutif 1

Mengapa Keselamatan dan Keamanan Kimia Penting bagi Lembaga Anda? 2
Mengembangkan Budaya Keselamatan dan Keamanan Kimia 2
Tanggung Jawab dan Akuntabilitas untuk Keselamatan dan Keamanan Laboratorium 3
Jenis-jenis Bahaya dan Risiko di Laboratorium Kimia 4
Menegakkan Keselamatan dan Keamanan Laboratorium 8
Menemukan dan Mengalokasikan Sumber Daya 9
Apa yang Dapat Anda Lakukan untuk Meningkatkan Keselamatan dan Keamanan Kimia? 10
Sepuluh Langkah Membangun Sistem Manajemen Keselamatan dan Keamanan 10
Keselamatan dan Keamanan Kimia di Tingkat Laboratorium 12

1 Budaya Keselamatan dan Keamanan Laboratorium 13

2 Membangun Sistem Manajemen Keselamatan dan Keamanan Kimia yang Efektif 15

2.1 Pendahuluan 16
2.2 Tugas Siapa Ini? Tanggung Jawab Keselamatan dan Keamanan Laboratorium 16
2.3 Sepuluh Langkah Menciptakan Sistem Manajemen Keselamatan dan Keamanan Kimia Laboratorium secara Efektif 19

3 Perencanaan Darurat 25

3.1 Pendahuluan 26
3.2 Mengembangkan Rencana Kesiapsiagaan Keadaan Darurat 26
3.3 Menilai Kerentanan Laboratorium 27
3.4 Mengidentifikasi Kepemimpinan dan Prioritas 27
3.5 Membuat Rencana 28
3.6 Pelatihan Keadaan Darurat 36

4 Menerapkan Peraturan, Program, dan Kebijakan Keselamatan dan Keamanan 39

4.1 Pendahuluan 40
4.2 Kendali Administratif Penting 40
4.3 Inspeksi 41
4.4 Pelaporan dan Penyelidikan Insiden 42
4.5 Kebijakan Penegakan Peraturan dan Insentif 42
4.6 Praktik Terbaik untuk Program Pengukuran Kinerja 43
4.7 Dua Belas Pendekatan untuk Mengikuti Praktik Terbaik 44

5 Fasilitas Laboratorium 49

5.1 Pendahuluan 50
5.2 Pertimbangan Rancangan Laboratorium Umum 50
5.3 Program Inspeksi Laboratorium 52
5.4 Ventilasi Laboratorium 52
5.5 Sistem Khusus 56
5.6 Program Manajemen Sistem Ventilasi 58

6 Keamanan Laboratorium 61

6.1 Pendahuluan 62
6.2 Dasar Keamanan 62
6.3 Menentukan Tingkat Keamanan 63
6.4 Mengurangi Bahaya Penggunaan-Ganda Bahan Laboratorium 65
6.5 Menetapkan Keamanan Informasi 67
6.6 Melakukan Penilaian Kerentanan Keamanan 68
6.7 Membuat Rencana Keamanan 69
6.8 Mengelola Keamanan 70
6.9 Kepatuhan pada Peraturan 70
6.10 Keamanan Fisik dan Operasional 72

7 Menilai Bahaya dan Risiko di Laboratorium 75

7.1 Pendahuluan 77
7.2 Mengonsultasikan Sumber Informasi 77
7.3 Mengevaluasi Risiko Racun Bahan Kimia Laboratorium 78
7.4 Menilai Risiko Racun Bahan Kimia Laboratorium Tertentu 79
7.5 Menilai Bahaya Bahan Mudah Terbakar, Reaktif, dan Mudah Meledak 85
7.6 Menilai Bahaya Fisik 93
7.7 Menilai Bahaya Hayati 96

8 Mengelola Bahan Kimia **97**
8.1 Pendahuluan 98
8.2 Bahan Kimia Ramah Lingkungan untuk Setiap Laboratorium 98
8.3 Membeli Bahan Kimia 101
8.4 Inventaris dan Pelacakan Bahan Kimia 104
8.5 Penyimpanan Bahan Kimia 104
8.6 Pemindahan, Pengangkutan, dan Pengiriman Bahan Kimia 111

9 Bekerja dengan Bahan Kimia **113**
9.1 Pendahuluan 115
9.2 Perencanaan Cermat 116
9.3 Prosedur Umum untuk Bekerja dengan Bahan Kimia Berbahaya 116
9.4 Bekerja dengan Zat dengan Toksisitas Tinggi 129
9.5 Bekerja dengan Bahan Berbahaya Hayati 132
9.6 Bekerja dengan Bahan Kimia yang Mudah Terbakar 132
9.7 Bekerja dengan Bahan Kimia yang Sangat Reaktif atau Mudah Meledak 134

10 Bekerja dengan Peralatan Laboratorium **145**
10.1 Pendahuluan 147
10.2 Bekerja dengan Peralatan Berdaya Listrik 147
10.3 Bekerja dengan Gas Mampat 149
10.4 Bekerja dengan Tekanan dan Suhu Tinggi dan Rendah 153
10.5 Mengenakan Peralatan Perlindungan Diri, Keselamatan, dan Keadaan Darurat 160

11 Mengelola Limbah Kimia **163**
11.1 Pendahuluan 164
11.2 Mengidentifikasi Limbah dan Bahayanya 165
11.3 Mengumpulkan dan Menyimpan Limbah 166
11.4 Penanganan dan Pengurangan Bahaya 171
11.5 Opsi Pembuangan 172

Lampiran

A.	A.1.	Contoh Daftar Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan	179
B.	B.1.	Sumber Informasi Kimia	189
C.	C.1.	Jenis Program Inspeksi	195
	C.2.	Unsur Inspeksi	198
	C.3.	Butir-butir yang Dicakup dalam Inspeksi	200
D.	D.1.	Pertimbangan Rancangan untuk Casework, Perabotan, dan Etalase	202
	D.2.	Kendali Teknik Laboratorium untuk Perlindungun Diri	204
	D.3.	Tudung Laboratorium	206
	D.4.	Pemeliharaan Sistem Ventilasi	209
E.	E.1.	Mengembangkan Penilaian Kerentanan Keamanan Menyeluruh	211
F.	F.1.	Menilai Jalur Pemaparan Bahan Kimia Beracun	215
	F.2.	Menilai Risiko Terkait dengan Racun Akut	218
	F.3.	Titik Nyala, Titik Didih, Suhu Penyalaan, dan Batas Dapat Terbakar Beberapa Bahan Kimia Laboratorium Umum	220
	F.4.	Bahan Kimia yang Bisa Membentuk Peroksida	221
	F.5.	Bahaya Bahan Kimia Khusus dari Gas Tertentu	223
G.	G.1.	Mengatur Inventaris	225
	G.2.	Contoh Kelompok Penyimpanan yang Sesuai	228
H.	H.1.	Peralatan Perlindungan Diri, Keselamatan, dan Keadaan Darurat	229
	H.2.	Bahan yang Memerlukan Perhatian Khusus Karena Bersifat Reaktif, Mudah Meledak, atau Ketidaksesuaian Bahan Kimia	236
I.	I.1.	Tindakan Pencegahan jika Bekerja dengan Peralatan Khusus	245
	I.2.	Panduan jika Bekerja dengan Peralatan bertekanan yang Dimampatkan Khusus	254
	I.3.	Tindakan Pencegahan Jika Menggunakan Peralatan Vakum Lainnya	257
J.	J.1.	Cara Menilai Bahan yang Tidak Dikenal	259
	J.2.	Prosedur untuk Penanganan Kelebihan dan Limbah Bahan Kimia Skala Laboratorium	263

Toolkit

1. Panduan Instruktur [1]

Kata Pengantar [3]

Pendahuluan [5]

Pelajaran bagi Manajer Laboratorium [7]

Pelajaran 1: Memastikan Penggunaan Peralatan Keselamatan di Laboratorium [9]

Pelajaran 2: Menindaklanjuti Perilaku Mencurigakan [15]

Pelajaran 3: Mengatasi Masalah Keamanan dan Keselamatan Akibat Praktik Pembelian [17]

Pelajaran 4: Penyelesaian Masalah secara Kreatif di Lingkungan yang Kekurangan Sumber Daya [19]

Pelajaran 5: Mengelola Konflik Interpersonal di Laboratorium [21]

Pelajaran 6: Tekanan untuk Mengambil Jalan Pintas di Laboratorium [25]

Pelajaran 7: Meningkatkan Keselamatan dan Keamanan Laboratorium [29]

Pelajaran 8: Penggunaan Sungkup Kimia yang Tidak Benar [31]

Pelajaran 9: Aliran Udara yang Tidak Merata di Sungkup Asap Bahan Kimia [33]

Pelajaran 10: Penggunaan Freezer Laboratorium yang Tidak Benar [35]

Pelajaran bagi Staf Laboratorium dan Siswa [37]

Pelajaran 11: Keengganan untuk Berkonflik dengan Rekan Kerja atau Atasan [39]

Pelajaran 12: Memperhatikan dan Melaporkan Masalah Keselamatan [43]

Pelajaran 13: Melindungi Diri Sendiri dan Orang Lain [45]

Lembar Kerja Peserta

2. Formulir [85]

Persiapan Keadaan Darurat jika Bekerja dengan Bahan Kimia Khusus [87]

Daftar Periksa Inspeksi [91]

Laporan Insiden [95]

Lembar Informasi Keadaan Darurat Laboratorium [97]

Log Inventoris [99]

Inventoris Wadah [101]

Daftar Periksa Penilaian Bahaya Laboratorium [103]

3. Tanda Peringatan [105]
Shower Laboratorium [107]
Pencuci Mata [109]
Penyimpanan Bahan Kimia Saja [111]
Makanan dan Minuman Saja [113]
Awas: Permukaan Panas [115]
Awas: Dilarang Masuk Risiko Ledakan [117]
Awas: Bahan Mudah Terbakar [119]
Berhenti: Anda memasuki area wajib mengenakan alat pelindung mata [121]
Peringatan: Laporkan Semua Insiden kepada Supervisor Anda [123]

Kartu Referensi Praperencanaan

Brosur Panduan Cepat

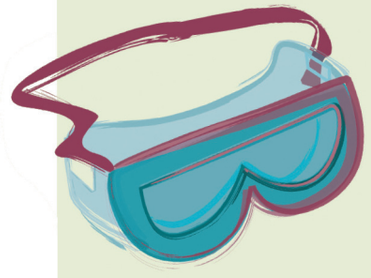
Brosur Rangkuman Eksekutif

Keselamatan dan Keamanan Laboratorium Kimia

Panduan Pengelolaan Bahan Kimia dengan Bijak

Lisa Moran dan Tina Masciangioli, *Editors*







Ringkasan Eksekutif

Mengapa Keselamatan dan Keamanan Kimia Penting bagi Lembaga Anda? 2

Mengembangkan Budaya Keselamatan dan Keamanan Kimia 2

Tanggung Jawab dan Akuntabilitas untuk Keselamatan dan Keamanan Laboratorium 3

Jenis-jenis Bahaya dan Risiko di Laboratorium Kimia 4

- Keadaan Darurat Skala Besar dan Situasi Sensitif 4
- Pelanggaran Keamanan 5
- Paparan Bahan Kimia Beracun 5
- Bahan Kimia Mudah Terbakar, Eksplosif, dan Reaktif 5
- Bahaya Hayati 7
- Bahaya Fisik akibat Peralatan Laboratorium 7
- Limbah Berbahaya 7

Menegakkan Keselamatan dan Keamanan Laboratorium 8

- Halangan-halangan untuk Mematuhi Prosedur Keselamatan dan Keamanan 8

Menemukan dan Mengalokasikan Sumber Daya 9

Apa yang Dapat Anda Lakukan untuk Meningkatkan Keselamatan dan Keamanan Kimia? 10

Sepuluh Langkah Membangun Sistem Manajemen Keselamatan dan Keamanan 10

Keselamatan dan Keamanan Kimia di Tingkat Laboratorium 12

Mengapa Keselamatan dan Keamanan Kimia Penting bagi Lembaga Anda?

Selama abad yang lalu, kimia telah membuat kita semakin memahami dunia fisik dan biologis serta kemampuan kita untuk memanipulasinya. Pekerjaan yang dilakukan di laboratorium kimia di seluruh penjuru dunia terus memungkinkan kemajuan penting di dunia sains dan teknik. Laboratorium kimia menjadi pusat pemerolehan pengetahuan dan pengembangan materi baru untuk digunakan di masa depan, serta pusat pemantauan dan pengendalian bahan kimia yang saat ini digunakan secara rutin dalam ribuan proses komersial.

Lembaga harus menyadari potensi penyalahgunaan secara tidak sengaja dan sengaja seperti terorisme atau perdagangan obat-obatan ilegal.

Sebagian besar bahan kimia yang saat ini dihasilkan dan digunakan adalah bahan yang bermanfaat, tetapi sebagian juga berpotensi merusak kesehatan manusia, lingkungan, dan sikap masyarakat terhadap perusahaan kimia. Lembaga harus menyadari potensi penyalahgunaan secara tidak sengaja dan sengaja seperti terorisme atau perdagangan obat-obatan ilegal. Laboratorium menghadapi sejumlah ancaman, termasuk pencurian informasi sensitif, peralatan bernilai tinggi, dan bahan kimia dengan "penggunaan-ganda" yang mungkin digunakan sebagai senjata. Penyelamatan dan pengamanan bahan kimia bisa mengurangi risiko-risiko ini.

Budaya baru yang berisi kesadaran keselamatan dan keamanan, akuntabilitas, penataan, dan pendidikan telah berkembang di seluruh dunia di laboratorium milik industri kimia, pemerintah, dan lembaga pendidikan. Laboratorium telah mengembangkan prosedur dan peralatan khusus untuk menangani dan mengelola bahan kimia secara selamat dan aman. Pengembangan "budaya keselamatan dan keamanan" menghasilkan laboratorium yang aman dan sehat bagi lingkungan tempat kita mengajar, belajar, dan bekerja.

Mengembangkan Budaya Keselamatan dan Keamanan Kimia

Terbentuknya budaya keselamatan dan keamanan bergantung pada pemahaman bahwa kesejahteraan dan keamanan tiap orang tergantung pada kerja sama tim dan tanggung jawab masing-masing anggota. Budaya keselamatan dan keamanan harus dimiliki setiap orang, tidak hanya harapan dari luar yang didorong oleh peraturan lembaga.

Program keselamatan dan keamanan yang sukses memerlukan komitmen dari semua orang yang bekerja di lembaga setiap hari.

Laboratorium akademik dan pengajaran memiliki tanggung jawab unik untuk menanamkan sikap kesadaran keselamatan dan keamanan dan praktik laboratorium yang bijak sepanjang hayat. Praktik yang aman harus dijadikan prioritas utama pengajaran di laboratorium akademik. Memupuk kebiasaan dasar berperilaku bijak adalah komponen yang sangat penting dari pendidikan kimia di setiap level dan tetap penting sepanjang karier kimiawan. Dengan mempromosikan keselamatan selama bertahun-tahun mengajar di tingkat sarjana dan

pasca sarjana, staf pengajar tidak hanya memberi pengaruh pada siswa, tetapi juga setiap orang yang akan bekerja di lingkungan yang sama di masa mendatang.

Program keselamatan dan keamanan yang sukses memerlukan komitmen dari semua orang yang bekerja di lembaga setiap hari. Semua orang di semua tingkat harus memahami pentingnya meniadakan risiko di laboratorium dan bekerja bersama untuk mencapai tujuan ini. Pimpinan lembaga memiliki kekuatan dan kewenangan terbesar, sehingga paling bertanggung jawab untuk mengembangkan budaya keselamatan dan keamanan.

Tanggung Jawab dan Akuntabilitas untuk Keselamatan dan Keamanan Laboratorium

Keselamatan dan keamanan laboratorium mensyaratkan adanya peraturan dan program wajib, komitmen terhadap keduanya, dan adanya konsekuensi jika aturan-aturan dan harapan itu tidak dipenuhi. Lembaga memerlukan struktur administrasi dan dukungan yang terbangun kokoh yang tidak hanya berasal dari laboratorium, tetapi juga lembaga itu sendiri. Tanggung jawab keselamatan dan keamanan sepenuhnya bergantung pada kepala lembaga dan satuan pelaksananya. Pegawai lain yang bertanggung jawab memelihara lingkungan laboratorium yang selamat dan aman antara lain:

- **Kantor Kesehatan, Keselamatan, dan Lingkungan:** Kantor ini mestinya dijalankan oleh staf pakar bidang keamanan kimia, teknik, kedokteran kerja, pengamanan kebakaran, toksikologi, atau bidang lain. Kantor kesehatan, keselamatan dan lingkungan ini paling efektif jika saling bermitra dengan semua kepala atau direktur departemen, kepala investigator atau manajer, dan pegawai laboratorium. Kantor ini seharusnya membantu merancang program keselamatan dan keamanan yang memberikan panduan teknis dan dukungan pelatihan yang sesuai dengan kerja laboratorium, yang mudah dilaksanakan, dan sesuai dengan undang-undang serta standar dasar keselamatan dan keamanan.

Tanggung jawab keselamatan dan keamanan sepenuhnya dipikul kepala lembaga dan satuan pelaksananya.

- **Petugas Keselamatan dan Keamanan Kimia (CSSO):** CSSO menetapkan upaya bersama untuk manajemen keselamatan dan keamanan dan memberikan panduan kepada semua orang di semua tingkat pada lembaga. CSSO harus dibekali pengetahuan, tanggung jawab, dan kewenangan untuk mengembangkan dan menegakkan sistem manajemen keselamatan dan keamanan yang efektif.
- **Manajer, Supervisor, dan Asisten Praktikum:** Selain CSSO, tanggung jawab langsung manajemen program keselamatan laboratorium biasanya berada pada manajer laboratorium. Dalam praktikum, instruktur

laboratorium bertanggung jawab secara langsung atas segala tindakan yang dilakukan para siswanya. Instruktur harus mendorong budaya keselamatan dan keamanan dan mengajarkan kemampuan yang diperlukan oleh siswa dan pegawai lain tentang cara menangani bahan kimia dengan aman.

- **Siswa dan Staf Laboratorium:** Meskipun mereka dipandu oleh pimpinan lembaga, siswa dan pegawai laboratorium lainnya bertanggung jawab secara langsung untuk bekerja dengan aman dan menjaga bahan kimia yang mereka gunakan. Semua orang yang bekerja di laboratorium, siswa atau pegawai, harus mematuhi semua protokol keselamatan dan keamanan untuk melindungi diri mereka sendiri dan orang lain.

Jenis-jenis Bahaya dan Risiko di Laboratorium Kimia

Budaya baru keamanan dan keselamatan laboratorium menekankan adanya perencanaan eksperimen, yang meliputi perhatian terhadap penilaian risiko dan pertimbangan bahaya secara reguler terhadap diri pekerja dan orang lain. Setiap pekerja di laboratorium harus diberi informasi tentang potensi bahaya dan menguranginya sesedikit mungkin. Lembaga bisa mewujudkan tempat kerja yang bebas kecelakaan dengan menetapkan tujuan bebas kecelakaan dan bebas alasan yang dibuat-buat.

Laboratorium menghadapi beragam risiko, baik dari dalam maupun luar laboratorium. Beberapa risiko terutama mungkin mempengaruhi laboratorium itu sendiri, tetapi risiko lainnya mungkin mempengaruhi lembaga yang lebih besar dan bahkan masyarakat jika tidak ditangani dengan tepat.

Keadaan Darurat Skala Besar dan Situasi Sensitif

Ada banyak jenis kejadian skala besar yang bisa mempengaruhi lembaga dan benar-benar mengganggu operasional laboratorium. Sebagian keadaan darurat skala besar dan situasi sensitif yang paling sering terjadi meliputi:

- kebakaran, banjir, dan gempa bumi;
- peringatan pandemik;
- pemadaman listrik;
- larangan perjalanan;
- absen lama karena sakit;
- tumpahan atau lepasnya bahan berbahaya;
- pengunjung yang sangat terkenal;
- peneliti atau penelitian yang berbau politis atau kontroversial;
- tindakan kekerasan atau pencurian yang sengaja;

- hilangnya bahan atau peralatan laboratorium;
- hilangnya data atau sistem komputer;
- hilangnya peralatan yang sangat penting; dan
- hilangnya peralatan yang bernilai tinggi atau sulit dicari penggantinya.

Pelanggaran Keamanan

Lembaga harus menyadari potensi pelanggaran keamanan, baik oleh pegawai internal atau penyusup dari luar. Pelanggaran keamanan tak sengaja pun menimbulkan risiko serius. Kemungkinan pelanggaran antara lain

- pencurian atau penyalahgunaan peralatan yang sangat penting atau bernilai tinggi;
- pencurian atau penyalahgunaan bahan kimia atau bahan "penggunaan-ganda" yang mungkin digunakan untuk senjata pemusnah massal;
- ancaman dari kelompok aktivis;
- pelepasan atau pemaparan bahan berbahaya secara tidak sengaja atau sengaja;
- sabotase bahan kimia atau peralatan bernilai tinggi;
- publikasi informasi sensitif;
- pekerjaan ilegal atau eksperimentasi laboratorium yang tidak sah; dan
- ancaman eksternal lainnya.

Paparan Bahan Kimia Beracun

Salah satu risiko yang sulit diprediksi dan paling berbahaya yang dihadapi pegawai di dalam laboratorium adalah kadar racun berbagai bahan kimia. Di laboratorium kimia, **tidak ada satu zat pun yang sepenuhnya aman** dan **semua bahan kimia menghasilkan efek beracun jika zat tersebut dalam jumlah yang cukup tersentuh oleh sistem hidup.** Banyak bahan kimia memiliki lebih dari satu jenis kandungan racun. Tabel ES.1 menguraikan daftar kelas zat beracun paling umum.

Bahan Kimia Mudah Terbakar, Eksplosif, dan Reaktif

Bahaya akibat bahan kimia mudah terbakar, eksplosif, dan reaktif merupakan risiko besar bagi pegawai laboratorium. Semua pegawai laboratorium perlu menyadari kemungkinan kebakaran atau ledakan jika bahan-bahan kimia ini ada di laboratorium.

- **Bahan kimia mudah terbakar** adalah bahan kimia yang siap memantik api dan terbakar di udara, dan bentuknya bisa padat, cair, atau uap. Untuk menggunakan bahan mudah terbakar dengan benar, diperlukan

Tabel ES.1 Kelas Umum Bahan Beracun

Bahan Beracun	Contoh	Efek
Racun akut	Hidrogen sianida, nitrogen dioksida	Menyebabkan dampak berbahaya pada paparan pertama
Iritan	Silil halida dan hidrogen selenida	Menyebabkan efek radang sementara
Zat korosif	Klorin, asam nitrat	Menghancurkan jaringan hidup dengan aksi bahan kimia di lokasi kontak
Alergen dan pemeka	Diazometana	Menghasilkan reaksi merugikan oleh sistem kekebalan; mempengaruhi orang secara berbeda tergantung kepekaan mereka
Asfiksian	Karbon dioksida, metana	Mengganggu pengiriman pasokan oksigen yang memadai ke organ tubuh yang vital
Neurotoksin	Merkuri, karbon disulfida	Mengakibatkan efek merugikan pada struktur atau fungsi sistem syarat pusat atau periferal; bisa permanen atau sementara
Toksin reproduktif	Arsenik	Menyebabkan kerusakan kromosom atau efek teratogenik di fetus dan menyebabkan efek merugikan pada berbagai aspek reproduksi, termasuk kesuburan, kehamilan, produksi ASI, dan kinerja reproduksi umum lainnya
Toksin Pengembangan	Pelarut organik (toluena)	Beraksi selama kehamilan dan menyebabkan efek merugikan pada fetus
Bahan beracun	Hidrokarbon berklor	Mempengaruhi organ selain sistem neurologis dan reproduktif
Karsinogen	Benzena, klorometil metil eter	Menyebabkan kanker setelah terpapar berulang kali atau dalam durasi lama; efek mungkin terlihat nyata setelah masa inkubasi yang lama

pengetahuan tentang kecenderungan bahan ini untuk menguap, memantik api, atau terbakar dalam berbagai kondisi di laboratorium. Cara terbaik untuk menangani bahaya ini adalah mencegah munculnya uap mudah terbakar dan sumber pemantik api pada saat bersamaan.

- **Bahan kimia reaktif** adalah bahan yang bereaksi liar jika dikombinasikan dengan bahan lain. Bahan ini meliputi zat yang reaktif terhadap air, seperti logam alkali; bahan piroforik, seperti logam terbagi dengan baik; dan bahan kimia yang tidak kompatibel, seperti cairan murni dan asam hidrosianik gas dan basa.
- **Bahan kimia eksplosif** meliputi berbagai bahan yang bisa meledak dalam kondisi tertentu. Di antaranya meliputi bahan peledak, senyawa azo organik dan peroksida, bahan oksidasi, dan bubuk dan zat khusus.

Risiko ledakan lain berasal dari kegiatan laboratorium, tidak hanya dari bahan kimia itu sendiri. Bahan peledak yang sangat panas, mempercepat reaksi, menjalankan reaksi baru dan eksotermal, dan menjalankan reaksi yang memerlukan periode induksi juga dapat menyebabkan ledakan.

Bahaya Hayati

Bahaya hayati merupakan masalah di laboratorium yang menangani mikroorganisme atau bahan yang terkontaminasi mikroorganisme. Bahaya-bahaya ini biasanya muncul di laboratorium penelitian klinis dan penyakit menular, tetapi mungkin juga muncul di laboratorium lain. Penilaian risiko bahan bahaya hayati perlu mempertimbangkan sejumlah faktor, antara lain organisme yang dimanipulasi, perubahan yang dilakukan terhadap organisme tersebut, dan kegiatan yang akan dilakukan dengan organisme tersebut.

Bahaya Fisik akibat Peralatan Laboratorium

Beberapa pengoperasian laboratorium menimbulkan bahaya fisik bagi pegawai akibat bahan atau peralatan yang digunakan. Bahaya fisik di laboratorium meliputi berikut ini:

- gas mampat;
- kriogen tidak mudah menyala;
- reaksi tekanan tinggi;
- kerja vakum;
- bahaya frekuensi radio dan gelombang mikro; dan
- bahaya listrik.

Pegawai juga menghadapi bahaya tempat kerja umum akibat kondisi atau kegiatan di laboratorium. Potensi bahaya fisik meliputi luka terpotong, tergelincir, tersandung, terjatuh, dan cedera gerakan berulang.

Limbah Berbahaya

Hampir setiap laboratorium menghasilkan limbah. Limbah adalah bahan yang dibuang atau hendak dibuang, atau tidak lagi berguna berdasarkan peruntukannya. Sebuah bahan dianggap limbah jika dibiarkan atau jika dianggap "seperti limbah," seperti bahan tumpah. Limbah diklasifikasikan sebagai bahan berbahaya atau tidak berbahaya dan bisa meliputi barang-barang seperti bahan laboratorium sekali pakai, media filter, larutan cair, dan bahan kimia berbahaya. Limbah yang berpotensi berbahaya memiliki satu atau beberapa sifat berikut ini: daya sulut, korosivitas, reaktivitas, atau toksisitas.

Menegakkan Keselamatan dan Keamanan Laboratorium

Praktik aman oleh pegawai laboratorium memerlukan perhatian dan pendidikan berkelanjutan; praktik ini harus bersifat wajib. Program inspeksi laboratorium secara berkala akan membantu menjaga agar fasilitas, peralatan, dan pegawai laboratorium selamat dan aman. Manajemen lembaga harus membantu merancang program inspeksi dan memutuskan jenis inspeksi, frekuensi inspeksi, dan pegawai yang melakukan inspeksi.

Program inspeksi menyeluruh dapat meliputi beberapa atau semua jenis inspeksi berikut ini:

- inspeksi peralatan dan fasilitas secara rutin, yang sering dilakukan oleh semua pegawai laboratorium;
- audit program yang dilaksanakan oleh tim yang mungkin menyertakan supervisor laboratorium dan manajemen lain;
- inspeksi sejawat oleh rekan kerja laboratorium dari departemen lain;
- inspeksi keamanan dan kesehatan lingkungan yang dilakukan secara reguler;
- swa-audit praktik dan peralatan; dan
- inspeksi oleh badan eksternal, seperti lembaga tanggap darurat atau lembaga pengatur.

Halangan-halangan untuk Mematuhi Prosedur Keselamatan dan Keamanan

Ada kemungkinan suatu saat pegawai tidak mematuhi prosedur keselamatan dan keamanan laboratorium, baik secara sengaja atau tidak sengaja. Beberapa kemungkinan halangan untuk patuh antara lain

- pergantian siswa dan staf yang berlangsung cepat dan harus dilatih tentang prosedur keselamatan dan keamanan;
- tingkat pengalaman di laboratorium yang beragam antara siswa, staf, dan bahkan supervisor;
- kekurangan instruktur atau pihak lain yang dapat mengajari siswa dan staf baru;
- beban waktu pelatihan dan penyimpanan catatan yang tidak memadai;
- biaya atau terbatasnya ketersediaan peralatan keselamatan dan keamanan;
- kondisi lingkungan yang menyulitkan kepatuhan, seperti iklim yang membuat pegawai tidak nyaman saat mengenakan peralatan pelindung diri;

- keyakinan budaya yang mengecilkan pentingnya kesehatan dan keamanan individu; dan
- kurangnya perusahaan swasta yang bisa membuang limbah berbahaya dari laboratorium.

Lembaga harus menyadari dan mengatasi kemungkinan halangan kepatuhan ini saat merancang kebijakan dan prosedur keselamatan dan keamanan.

Menemukan dan Mengalokasikan Sumber Daya

Organisasi yang bisa dihubungi untuk mendapatkan informasi, pelatihan, dan pendanaan termasuk berikut ini:

- **Program Partisipasi Keamanan Kimia A.S.**
  www.csp-state.net
- **Himpunan Ilmu Kimia Murni dan Terapan Dunia—Program Pelatihan Keselamatan**
  www.iupac.org/standing/coci/safety-program.html
- **Federasi Masyarakat Kimia Asia**
  www.facs-as.org
- **Organisasi Pelarangan Senjata Kimia**
  www.opcw.org
- **Masyarakat Kimia Amerika—Divisi Kesehatan dan Keselamatan Bahan Kimia**
  www.dchas.org
- **Himpunan Kimiawan Arab**
  www.arabchem.org (Bahasa Arab)
- **Federasi Masyarakat Kimia Afrika**
  www.faschem.org
- **Dewan Kimia Amerika**
  www.responsiblecare-us.com
- **Program Internasional tentang Program INCHEM Keselamatan Bahan Kimia**
  www.inchem.org
- **Pendekatan Strategis terhadap Manajemen Kimia Internasional**
  www.saicm.org
- **Konvensi Stockholm tentang Polutan Organik Persisten**
  http://chm.pops.int

Apa yang Dapat Anda Lakukan untuk Meningkatkan Keselamatan dan Keamanan Kimia?

Masing-masing lembaga sama-sama memikul beban etika, hukum, dan finansial untuk memastikan pekerjaan yang dilakukan di laboratoriumnya dilakukan secara aman dan bertanggung jawab. Lembaga harus membuat panduan umum tentang apa yang dimaksud dengan praktik selamat dan aman dalam pekerjaan laboratorium. Lembaga juga bertanggung jawab untuk menetapkan standar dan menyimpan catatan pelatihan yang diperlukan pegawai laboratorium. Terakhir, lembaga bertanggung jawab mengembangkan dan melaksanakan kebijakan dan standar laboratorium untuk prosedur dan pelatihan tanggap darurat.

Masing-masing lembaga harus mengembangkan sistem manajemen keselamatan dan keamanannya sendiri-sendiri berdasarkan panduan yang diuraikan di bawah ini. Cara dan tingkat penerapan masing-masing elemen kerangka kerja ini tergantung kondisi masing-masing lembaga.

Sepuluh Langkah Membangun Sistem Manajemen Keselamatan dan Keamanan

1. **Kembangkan pernyataan kebijakan keselamatan dan keamanan.** Menerapkan kebijakan formal untuk mendefinisikan, mendokumentasikan, dan menyetujui sistem manajemen keselamatan dan keamanan kimia. Pernyataan kebijakan formal menetapkan harapan dan menyampaikan keinginan lembaga.
2. **Tunjuk Petugas Keselamatan dan Keamanan Kimia.** Tugaskan CSSO untuk mengawasi program manajemen keselamatan dan keamanan. Berikan waktu dan sumber daya khusus serta kewenangan yang diperlukan CSSO untuk melaksanakan tanggung jawabnya. CSSO harus memiliki akses langkah, jika diperlukan, ke pejabat senior yang bertanggung jawab kepada publik.
3. **Identifikasi dan atasi situasi yang sangat berbahaya.** Laksanakan evaluasi berbasis risiko untuk menentukan dampak dan kecukupan upaya kendali yang ada, memprioritaskan kebutuhan, dan menerapkan tindakan perbaikan berdasarkan tingkat kepentingan dan sumber daya yang tersedia. Informasi yang dikumpulkan akan memberi dasar bagi terciptanya sistem manajemen keselamatan yang kokoh, serta membantu memprioritaskan berbagai upaya untuk meningkatkan keselamatan dan keamanan.
4. **Terapkan kendali administratif.** Kendali administratif menjelaskan peraturan dan prosedur lembaga tentang praktik keselamatan dan keamanan dan menetapkan tanggung jawab para individu yang terlibat.

Kendali administratif juga harus memberikan mekanisme untuk mengelola dan menanggapi perubahan, seperti prosedur, teknologi, ketentuan hukum, staf, dan perubahan lembaga. Kontrol ini meliputi peraturan keselamatan umum, prosedur kebersihan dan pemeliharaan laboratorium, panduan penggunaan bahan dan peralatan, dan dokumen lain yang bisa digunakan untuk menyampaikan peraturan dan harapan kepada semua pegawai laboratorium.

Budaya keselamatan laboratorium akhirnya tergantung kebiasaan kerja masing-masing kimiawan dan perasaan sebagai sebuah tim.

5. **Terapkan prosedur manajemen bahan kimia.** Manajemen bahan kimia adalah komponen yang sangat penting dari program keselamatan laboratorium dan meliputi prosedur tertentu untuk:
   - membeli bahan kimia;
   - penanganan bahan kimia, termasuk ventilasi yang memadai, penggunaan peralatan perlindungan diri (PPE) secara tepat, dan peraturan dan prosedur lembaga, terutama untuk tumpahan dan keadaan darurat;
   - penyimpanan bahan kimia;
   - pelacakan inventaris bahan kimia;
   - pengangkutan dan pengiriman bahan kimia; dan
   - pembuangan limbah kimia.

6. **Kenakan Peralatan Pelindung Diri dan Peralatan Kendali Teknik.** Setiap lembaga harus menyediakan fasilitas dan peralatan yang tepat untuk pegawai laboratorium. Peralatan kendali teknik seperti tudung laboratorium, ventilasi buang setempat, atau kotak sarung tangan, merupakan metode utama untuk mengontrol bahaya di laboratorium kimia. Peralatan pelindung diri, seperti kaca mata pengaman, kaca mata pelindung, dan pelindung wajah, harus melengkapi peralatan kendali teknik.

7. **Latih, komunikasikan, dan bina.** Cara terbaik menciptakan budaya keselamatan di tempat kerja adalah dengan memberi teladan yang baik setiap hari dengan mematuhi dan menegakkan peraturan dan prosedur keselamatan dan keamanan setiap hari. Sangatlah penting untuk membentuk sistem pelatihan dan pembinaan semua orang yang bekerja di laboratorium. Setiap lembaga harus menentukan saluran komunikasi yang efektif tentang keselamatan bahan kimia dengan pegawai di semua tingkat lembaga. Bahan di perangkat pengembangan (toolkit) yang menyertai buku ini meliputi studi kasus dan sumber daya lain yang berguna untuk melatih manajer laboratorium dan staf.

8. **Evaluasi fasilitas dan atasi kelemahannya.** Rancang semua laboratorium untuk memudahkan kerja eksperimen serta mengurangi kecelakaan. Keselamatan dan keamanan harus dipertimbangkan saat merancang dan memelihara laboratorium dan ruang kerjanya.
9. **Rencana untuk keadaan darurat Setiap laboratorium lembaga, departemen, dan individu harus memiliki rencana kesiapan keadaan darurat.** Langkah-langkah pengembangan rencana keadaan darurat meliputi:
   - menilai jenis kecelakaan yang paling mungkin terjadi;
   - mengidentifikasi pembuat keputusan dan pemangku kepentingan, seperti prioritas laboratorium;
   - membuat rencana keadaan darurat yang teridentifikasi dalam langkah pertama; dan
   - melatih staf tentang prosedur yang dijabarkan dalam rencana tersebut.
10. **Identifikasi dan atasi halangan kepatuhan terhadap keselamatan dan keamanan.** Seperti dibahas sebelumnya, ada banyak halangan kepatuhan terhadap sistem keselamatan dan keamanan, termasuk perubahan pegawai dan kondisi yang khusus satu laboratorium tertentu. Lembaga harus mengidentifikasi halangan-halangan ini dan menetapkan insentif agar pegawai laboratorium mematuhi upaya keselamatan dan keamanan.

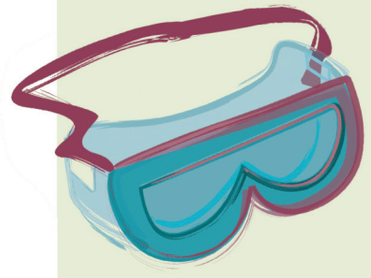
Keselamatan dan Keamanan Kimia di Tingkat Laboratorium

Budaya keselamatan laboratorium sangat tergantung pada kebiasaan kerja masing-masing kimiawan dan rasa kerja tim untuk melindungi diri mereka sendiri, tetangga, dan komunitas dan lingkungan yang lebih besar. Pimpinan lembaga mensyaratkan agar pegawai laboratorium mengambil langkah-langkah berikut ini untuk meningkatkan budaya keselamatan dan keamanan di fasilitas kerja:

1. Rencanakan semua eksperimen sebelumnya dan patuhi prosedur lembaga tentang keselamatan dan keamanan selama perencanaan.
2. Selama memungkinkan, minimalkan operasi laboratorium kimia untuk mengurangi bahaya dan limbah.
3. Asumsikan bahwa semua bahan kimia yang ada di laboratorium berpotensi beracun.
4. Pertimbangkan tingkat kemudahbakaran, korosivitas, dan daya ledak bahan kimia dan kombinasinya jika melakukan operasi laboratorium.
5. Pelajari dan patuhi semua prosedur lembaga terkait keselamatan dan keamanan.

1







Budaya Keselamatan dan Keamanan Laboratorium

Pada abad yang lalu, kimia telah membuat kita semakin memahami dunia fisika dan biologi serta kemampuan kita untuk memanipulasinya. Sebagian besar benda yang kita gunakan dalam kehidupan modern ini melibatkan proses kimia sintetik atau alami, dan pekerjaan yang dilakukan di laboratorium kimia di seluruh penjuru dunia terus memungkinkan terwujudnya kemajuan penting di dunia sains dan rekayasa.

Sejak zaman alkimia, bahan kimia laboratorium sudah menunjukkan sifat yang mengejutkan dan berbahaya. Di masa lalu, mati sebagai martir demi ilmu pengetahuan masih bisa diterima. Dalam pidatonya pada tahun 1890, kimiawan besar, August Kekulé, berkata: "Jika Anda ingin menjadi seorang kimiawan, seperti cerita Liebig kepada saya saat bekerja di laboratoriumnya, Anda harus mengorbankan kesehatan Anda. Siapa yang tidak mau mengorbankan kesehatan dalam penelitiannya, maka dia tidak akan mencapai apa pun dalam bidang Kimia."

Di zaman ini, sikap semacam itu nampaknya sama kunonya dengan alkimia. Selama bertahun-tahun, kami telah mengembangkan teknik, prosedur, kendali lingkungan, dan peralatan khusus untuk menangani dan mengelola bahan kimia secara aman. Pengembangan "budaya keselamatan" telah menghasilkan laboratorium yang aman dan lingkungan yang sehat untuk mengajar, belajar dan bekerja.

Sayangnya, saat ini timbul kekhawatiran tentang kemungkinan digunakannya bahan kimia laboratorium berbahaya oleh mereka yang ingin melakukan tindak kejahatan terorisme. Ancaman keamanan ini memberikan tantangan baru untuk bekerja dengan bahan kimia di laboratorium.

Menciptakan budaya keselamatan dan keamanan terletak pada kesadaran bahwa keselamatan masing-masing individu tergantung pada kerja sama tim maupun tanggung jawab pribadi. Budaya ini harus menjadi

Catatan Penyunting: Dua ikon yang sering muncul dalam buku ini:

 Isi ada di Lampiran

 Isi ada di Toolkit

sikap yang mendarah daging, bukan hanya sekadar harapan eksternal yang didorong oleh peraturan lembaga.

Belajar berpartisipasi dalam penilaian risiko rutin, perencanaan, dan pertimbangan kemungkinan kasus terburuk—bagi diri sendiri dan rekan kerja—merupakan bagian dari pendidikan ilmiah seperti halnya mempelajari latar belakang teoretis atau langkah-langkah untuk melakukan penelitian. Memelihara sikap dasar dan kebiasaan perilaku hati-hati merupakan bagian penting dari pendidikan kimia di setiap tingkatan hingga sepanjang karier kimiawan.

Keberhasilan program keselamatan dan keamanan memerlukan komitmen setiap hari dari semua pihak dalam lembaga itu.

Laboratotium penelitian dan pengajaran akademik memiliki tanggung jawab khusus untuk menanamkan kesadaran akan pentingnya keselamatan dan keamanan serta kehati-hatian dalam melakukan praktik laboratorium kepada siswanya. Pengajaran praktik serupa harus dijadikan prioritas utama di laboratorium, karena dosen menyiapkan siswa untuk berkarier di laboratorium industri, pemerintahan, akademik, dan ilmu kesehatan. Dengan mendorong keselamatan dan keamanan selama kuliah tingkat sarjana hingga pascasarjana, dosen tidak hanya memberikan pengaruh kepada siswa, tetapi juga kepada semua orang yang nantinya akan bekerja bersama mereka.

Budaya keselamatan dan keamanan dalam lembaga membentuk dasar yang kuat bagi suksesnya pembangunan program pengelolaan bahan kimia laboratorium. Keberhasilan program keselamatan dan keamanan memerlukan komitmen harian dari semua pihak dalam lembaga tersebut. Individu di semua tingkatan harus memahami pentingnya meniadakan risiko terpapar ke bahan berbahaya di laboratorium dan harus berkerja sama mewujudkannya.

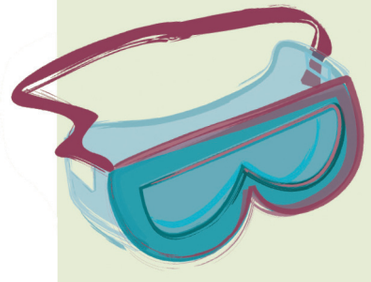
Buku ini terutama ditulis untuk manajer laboratorium, yang memerlukan panduan tentang pengembangan sistem untuk mengelola pengoperasian harian laboratorium kimia dengan selamat dan aman. Buku ini memberikan informasi spesifik tentang cara memperoleh, menggunakan, dan membuang bahan kimia laboratorium, serta panduan tentang membudayakan keselamatan di antara staf laboratorium dan siswa.

Panduan untuk Buku Ini

Buku ini terdiri dari 11 bab. Beberapa pembaca mungkin hanya berminat pada satu bab tertentu. Namun, buku ini paling efektif jika pembaca membaca bab demi bab secara berurutan. CD dengan bahan Lampiran bisa ditemukan di bagian belakang buku ini, dan memuat informasi yang lebih terperinci serta bahan referensi yang mungkin bermanfaat bagi manajer laboratorium. Selain itu, Toolkit yang disertakan memuat sumber pembelajaran untuk digunakan bersama buku ini dan untuk kegiatan pelatihan yang melibatkan staf laboratorium dan siswa.

2







Membangun Sistem Manajemen Keselamatan dan Keamanan Kimia yang Efektif

2.1 Pendahuluan **16**

2.2 Tugas Siapa Ini? Tanggung Jawab Keselamatan dan Keamanan Laboratorium **16**

2.2.1 Pimpinan 17

2.2.2 Petugas Keselamatan dan Keamanan Kimia (CSSO) 17

2.2.3 Kantor Kesehatan, Keselamatan, dan Lingkungan 18

2.2.4 Manajer, Supervisor, dan Asisten Praktikum 18

2.2.5 Siswa, Mahasiswa dan Pekerja 18

2.3 Sepuluh Langkah Menciptakan Sistem Manajemen Keselamatan dan Keamanan Kimia Laboratorium secara Efektif **19**

2.3.1 Membentuk Komite Pengawasan Keselamatan dan Keamanan Lembaga dan Menunjuk CSSO 19

2.3.2 Mengembangkan Kebijakan Keselamatan dan Keamanan Kimia 20

2.3.3 Membuat Kendali dan Proses Administratif untuk Mengukur Kinerja 20

2.3.4 Mengidentifikasi dan Mengatasi Situasi yang Sangat Berbahaya 20

2.3.5 Mengevaluasi Fasilitas dan Mengatasi Kelemahannya 23

2.3.6 Menentukan Prosedur untuk Penanganan dan Manajemen Bahan Kimia 23

2.3.7 Menggunakan Kendali Teknik dan Peralatan Pelindung Diri 24

2.3.8 Membuat Rencana untuk Keadaan Darurat 24

2.3.9 Mengidentifikasi dan Mengatasi Hambatan untuk Mengikuti Praktik Terbaik Keselamatan dan Keamanan 24

2.3.10 Melatih, Menyampaikan, dan Membina 24

2.1 Pendahuluan

Membangun budaya keselamatan dan keamanan memerlukan komitmen berkelanjutan dengan standar tertinggi di semua tingkatan—dari pimpinan lembaga teratas hingga pekerja laboratorium harian. Bab ini menyarankan kerangka kerja untuk memadukan keselamatan dan keamanan dalam laboratorium kimia berskala kecil. Penciptaan sistem manajemen keselamatan dan keamanan akan meningkatkan operasi laboratorium dan mengantisipasi serta mencegah keadaan yang mungkin mengakibatkan cedera, sakit, atau dampak lingkungan negatif lainnya. Cara penerapan tiap unsur dalam kerangka itu tergantung pada ukuran lembaga, sifat kegiatan, dan bahaya serta kondisi khusus pengoperasian.

2.2 Tugas Siapa Ini? Tanggung Jawab Keselamatan dan Keamanan Laboratorium

Individu dalam lembaga memiliki beragam peran dan tanggung jawab untuk membangun dan memelihara praktik yang selamat dan aman. Menjadi teladan adalah metode terbaik bagi orang-orang di semua tingkatan untuk menunjukkan komitmen mereka.



2.2.1 Pimpinan

Tanggung jawab keselamatan dan keamanan sepenuhnya bergantung pada kepala lembaga dan satuan pelaksananya. Dalam beberapa kasus, pimpinan lembaga bisa jadi memiliki kewajiban hukum untuk menyediakan lingkungan kerja yang aman dan selamat. Pimpinan juga bisa membuat perbedaan dalam meyakinkan pekerja untuk mematuhi program keselamatan dan keamanan. Pekerja bahkan akan mengabaikan program yang dirancang dengan baik jika manajemen puncak mengabaikannya.

2.2.2 Petugas Keselamatan dan Keamanan Kimia (CSSO)

Setiap lembaga harus menunjuk petugas keselamatan dan keamanan kimia (CSSO). CSSO membangun dan mendukung upaya bersama untuk mengelola keselamatan dan memberikan panduan kepada orang di semua tingkatan. CSSO harus dibekali pengetahuan, tanggung jawab, dan kewenangan untuk mengembangkan dan menegakkan sistem manajemen keselamatan dan keamanan yang efektif. Posisi ini bisa dijabat lebih dari satu orang dan berbagi tanggung jawab jika diperlukan.

TANGGUNG JAWAB CSSO

1. **Mengembangkan dan mematuhi program keselamatan dan keamanan terpadu di sepanjang masa pakai semua bahan kimia laboratorium**
   - Mematuhi kebijakan tentang bahan kimia laboratorium dan memastikan kepatuhan terhadap peraturan yang berlaku
   - Membantu dalam pembelian, penyimpanan, penggunaan, dan pembuangan limbah di tingkat laboratorium
   - Jika perlu, menjalankan program pengelolaan limbah untuk pembuangan limbah di luar; Program ini meliputi penerimaan limbah, pengangkutan, dan pembuangan akhir bahan melalui vendor komersial
   - Mencatat pesanan bahan kimia laboratorium
   - Menerima bahan kimia dan memelihara keakuratan inventaris
2. **Melakukan audit dan inspeksi kepatuhan**
   - Melakukan audit log inventaris dan keamanan lemari minimal setiap tahun
   - Jika ada tidak patuh, izin penggunaan bahan kimia laboratorium dihentikan sementara
   - Melakukan pencatatan lengkap tentang prosedur operasi standar (SOP) program yang mudah didapatkan, didistribusikan, dan diinspeksi
3. **Mengelola dan menyelidiki insiden yang melibatkan bahan kimia (tumpahan, kehilangan bahan kimia, cedera, dll.)**
4. **Manajer pelatihan, supervisor, dan pegawai harus mengembangkan SOP yang sesuai dan mematuhi program keselamatan**

2.2.3 Kantor Kesehatan, Keselamatan, dan Lingkungan

Beberapa lembaga besar juga memiliki kantor kesehatan, keselamatan, dan lingkungan yang dijalankan oleh satu staf CSSO atau lebih dan pakar tambahan di bidang keselamatan kimia, teknik, kedokteran kerja, pengamanan kebakaran, toksikologi, atau bidang lainnya. Kantor tersebut membantu membuat kebijakan dan mendorong standar keselamatan laboratorium. Kantor ini sering menangani masalah limbah berbahaya, kajian kecelakaan, inspeksi dan audit, pemantauan kepatuhan, pelatihan, penyimpanan catatan, dan tanggap darurat.

2.2.4 Manajer, Supervisor, dan Asisten Praktikum

Tanggung jawab langsung program pengelolaan keselamatan dan keamanan laboratorium biasanya dipangku oleh CSSO dan manajer laboratorium. Dalam praktikum, instruktur laboratorium atau asisten praktikum bertanggung jawab secara langsung atas segala tindakan yang dilakukan para siswanya. Instruktur bertanggung jawab untuk mendorong budaya keselamatan dan mengajarkan keahlian yang diperlukan oleh siswa, mahasiswa dan pekerja lain untuk menangani bahan kimia dengan aman.

TANGGUNG JAWAB MANAJER ATAU KETUA LABORATORIUM

1. **Memastikan pegawai laboratorium menerima pelatihan tentang keselamatan dan keamanan kimia umum.**
2. **Memastikan pegawai laboratorium memahami cara bekerja dengan bahan kimia secara aman. Menyediakan pelatihan untuk bahan kimia tertentu dan prosedur spesifik, termasuk cara mengembangkan dan menelaah SOP.**
3. **Memberi pekerja laboratorium peralatan kendali teknik dan peralatan perlindungan diri (PPE) yang diperlukan untuk bekerja dengan bahan kimia secara aman.**
4. **Memastikan bahwa laboratorium memiliki tingkat keamanan yang sesuai untuk bahan kimia.**
5. **Menentukan harapan keselamatan dan keamanan. Memasukkan keselamatan dan keamanan dalam penilaian kinerja.**
6. **Meninjau dan menyetujui pekerjaan dengan bahan kimia laboratorium.**

2.2.5 Siswa, Mahasiswa dan Pekerja

Meski bergantung pada panduan manajer dan guru atau dosen mereka, mahasiswa dan pekerja laboratorium lainnya yang sebenarnya melakukan pekerjaan. Mereka harus bekerja dengan bahan kimia yang mereka gunakan secara aman dan selamat. Semua orang yang bekerja di laboratorium—siswa atau karyawan—bertanggung jawab mematuhi protokol keselamatan dan keamanan untuk melindungi diri mereka sendiri dan orang lain.

TANGGUNG JAWAB SISWA, MAHASISWA DAN PEKERJA

1. **Mengikuti pelatihan keselamatan laboratorium.**
2. **Meninjau prosedur tertulis dan mematuhi prosedur tersebut.**
3. **Memastikan dapat memahami semua bahaya dan protokol keselamatan dan keamanan sebelum bekerja dengan suatu bahan kimia atau prosedur untuk pertama kalinya. Meninjau atau mengembangkan dan menyetujui SOP.**
4. **Bertanya kepada supervisor laboratorium atau CSSO jika tidak yakin tentang bahaya.**
5. **Menggunakan kendali teknik dan PPE yang sesuai.**
6. **Melaporkan semua insiden, masalah keamanan, dan kemungkinan pemaparan bahan kimia kepada manajer laboratorium.**
7. **Mendokumentasikan prosedur operasi spesifik untuk pekerjaan dengan bahan kimia berbahaya atau peralatan tertentu. Mengubah prosedur jika perlu.**

2.3 Sepuluh Langkah Menciptakan Sistem Manajemen Keselamatan dan Keamanan Kimia Laboratorium secara Efektif

Salah satu faktor paling penting suksesnya sistem manajemen keselamatan dan keamanan adalah komitmen pimpinan lembaga. Pimpinan harus mengambil langkah awal untuk menciptakan rencana dan menugaskan orang untuk menerapkan rencana tersebut.

2.3.1 Membentuk Komite Pengawasan Keselamatan dan Keamanan Lembaga dan Menunjuk CSSO

Pimpinan teratas lembaga harus membentuk komite untuk memberikan pengawasan terhadap keselamatan dan keamanan kimia di lembaga tersebut. Komite harus memiliki perwakilan dari semua bagian yang terpengaruh dan di semua tingkatan. Komite harus melapor langsung ke pimpinan teratas dan mendapatkan dukungan keuangan dan administratif yang diperlukan.

Lembaga harus menunjuk sedikitnya seorang CSSO untuk mengawasi program manajemen keselamatan dan keamanan. Tanggung jawab dan akuntabilitas CSSO harus ditentukan dengan jelas dan disampaikan kepada CSSO dan pimpinan lembaga, manajer laboratorium, pekerja, dan siswa. (Lihat Bagian 2.2.2. untuk informasi lebih lanjut tentang tanggung jawab CSSO.)

CSSO yang efektif harus memiliki waktu dan sumber daya khusus serta kewenangan yang diperlukan untuk melaksanakan tanggung jawabnya. CSSO harus memiliki akses langsung ke pejabat senior yang pada akhirnya bertanggung jawab

terhadap masyarakat. Jika CSSO tidak memiliki akses langsung ke pejabat tingkat senior, lembaga harus memberikan beberapa sarana pelaporan lain kepada pimpinan.

2.3.2 Mengembangkan Kebijakan Keselamatan dan Keamanan Kimia

Pimpinan lembaga harus membuat kebijakan formal untuk mendefinisikan dan mendokumentasikan sistem manajemen keselamatan dan keamanan kimia. Pernyataan kebijakan formal menetapkan harapan dan menyampaikan dukungan lembaga. Kebijakan tersebut harus menyatakan niat untuk:

- mencegah atau mengurangi kerugian diri dan ekonomi akibat kecelakaan, paparan kerja yang merugikan, dan pencemaran lingkungan;
- memasukkan pertimbangan keselamatan dan keamanan ke dalam semua fase operasional;
- mencapai dan memelihara kepatuhan terhadap undang-undang dan peraturan; serta
- terus memperbaiki kinerja.

Lembaga harus menyampaikan dan mengumumkan pernyataan kebijakan kepada karyawan serta meninjau ulang dan memperbaikinya jika diperlukan.

2.3.3 Membuat Kendali dan Proses Administratif untuk Mengukur Kinerja

Kendali administratif mendefinisikan aturan dan prosedur keselamatan dan keamanan khusus serta membuat daftar tanggung jawab individu yang terlibat. Kendali administratif juga harus menyediakan cara untuk mengelola dan menanggapi perubahan, seperti prosedur baru, teknologi, ketentuan hukum, staf, dan perubahan organisasi.

Mulai semua rapat departemen atau kelompok dengan masalah keselamatan—diskusikan kegiatan harian, masalah keselamatan atau keamanan yang muncul, dan apa yang bisa dilakukan untuk menghindari kemungkinan terjadinya insiden.

CSSO harus mengembangkan peraturan keselamatan umum, prosedur kebersihan dan pemeliharaan laboratorium, panduan penggunaan bahan dan peralatan, dan dokumen lain yang bisa digunakan untuk menyampaikan harapan kepada semua pekerja laboratorium. Dokumen ini juga harus mendefinisikan dengan jelas tanggung jawab siswa, mahasiswa, pekerja, manajer laboratorium, pimpinan lembaga, kontraktor, penyedia layanan darurat, dan pengunjung.

Evaluasi keselamatan dan keamanan operasi laboratorium harus menjadi bagian dari kegiatan sehari-hari. Misalnya, mulai semua rapat departemen atau kelompok dengan masalah keselamatan—diskusikan kegiatan harian, masalah keselamatan atau keamanan yang muncul, dan apa yang bisa dilakukan untuk menghindari kemungkinan terjadinya insiden.

2.3.4 Mengidentifikasi dan Mengatasi Situasi yang Sangat Berbahaya

Manajer, peneliti utama, pimpinan peneliti, pimpinan tim, dan supervisor harus berperan aktif dalam mengelola keselamatan dan keamanan laboratorium

mereka. Lakukan penelaahan status awal untuk menilai lingkup, kecukupan, dan penggunaan prosedur keselamatan. Gunakan telaahan status tersebut sebagai dasar untuk membangun program keselamatan dan keamanan dan membantu menentukan prioritas untuk perbaikan. Lakukan evaluasi berbasis risiko untuk menentukan cukup tidaknya upaya kendali yang ada, memprioritaskan kebutuhan, dan menerapkan tindakan perbaikan berdasarkan tingkat kepentingan dan sumber daya yang tersedia.

CONTOH PERNYATAAN KEBIJAKAN

Universitas ini berkomitmen untuk menyediakan lingkungan yang aman dan sehat bagi karyawannya, siswa, dan pengunjung serta untuk mengelola universitas dengan cara yang peka dan bertanggung jawab terhadap lingkungan. Kami menyadari kewajiban kami untuk menunjukkan kepemimpinan keselamatan dan lingkungan dengan mempertahankan standar tertinggi dan menjadi teladan bagi mahasiswa dan komunitas secara luas.

Universitas akan terus berupaya untuk meningkatkan kinerja keselamatan dan lingkungan dengan mengacu pada tujuan kebijakan berikut:

- Mengembangkan dan memperbaiki program dan prosedur untuk memastikan kepatuhan terhadap semua undang-undang dan peraturan yang berlaku
- Memastikan bahwa pegawai dilatih dengan baik dan dilengkapi dengan peralatan keselamatan dan keadaan darurat yang memadai
- Mengambil tindakan yang tepat untuk memperbaiki bahaya atau keadaan yang membahayakan kesehatan, keselamatan, atau lingkungan
- Mempertimbangkan faktor keselamatan dan lingkungan dalam semua keputusan operasi, termasuk yang terkait dengan perencanaan dan akuisisi
- Ikut serta dalam praktik penggunaan kembali dan daur ulang serta menjajaki kemungkinan peluang untuk meminimalkan jumlah toksisitas dari sampah yang dihasilkan
- Menggunakan energi secara efisien di seluruh operasi kami
- Mendorong akuntabilitas pribadi dan menekankan kepatuhan terhadap standar, kebijakan universitas, dan praktik terbaik selama pelatihan karyawan dan dalam telaahan kinerja
- Menyampaikan keinginan kami untuk meningkatkan kinerja secara berkesinambungan
- Mengembangkan harapan bahwa semua karyawan, mahasiswa, dan kontraktor di lokasi universitas akan mematuhi kebijakan ini dan melaporkan semua masalah lingkungan, kesehatan, atau keselamatan kepada manajemen universitas
- Memantau kemajuan kami melalui evaluasi berkala

Disetujui [tanggal] oleh Komite Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan

LANGKAH-LANGKAH DALAM MENGAMANKAN BAHAN KIMIA YANG PERLU DIPERHATIKAN (COC)

Semua upaya keamanan laboratorium harus sesuai dengan potensi risiko, tidak menghambat penelitian, dan memanfaatkan sumber daya setempat.

Perencanaan keamanan laboratorium mencakup berikut ini:

1. **Menentukan kebutuhan keamanan fisik: penjaga keamanan, kunci pintu (elektronik atau kunci), lemari terkunci, sistem alarm, dan lainnya.**
2. **Menetapkan izin akses: siapa yang boleh menggunakan bahan.**
3. **Memantau masalah akses: distribusi dan pengumpulan kunci, dan lainnya.**
4. **Menentukan harapan.**
5. **Mempertanyakan kehadiran orang tak dikenal di laboratorium.**
6. **Melaporkan semua kegiatan mencurigakan.**
7. **Mengunci pintu laboratorium jika tidak digunakan.**
8. **Mematuhi prosedur keamanan, termasuk mengganti bahan dan mengamankannya jika tidak digunakan.**
9. **Melarang penggunaan bahan dan fasilitas laboratorium tanpa izin.**
10. **Melatih pegawai laboratorium tentang masalah dan harapan keamanan.**
11. **Memasukkan masalah keamanan dalam inspeksi laboratorium reguler.**
12. **Membangun protokol pelaporan masalah keamanan.**

Untuk informasi lebih lanjut tentang keamanan laboratorium umum, lihat Bab 6.

Untuk memulai proses pembuatan sistem manajemen bahan kimia yang efektif, manajemen laboratorium harus menyusun daftar seluruh bahan kimia di dalam laboratorium, terutama *bahan kimia yang perlu diperhatikan* (COC).

BAHAN KIMIA YANG PERLU DIPERHATIKAN (COC)

COC (Chemicals of Concerns) adalah bahan kimia yang sangat berbahaya atau bahan kimia yang berpotensi menjadi prekursor bahan yang sangat berbahaya. Biasanya, daftar ini mencakup bahan kimia yang didaftar oleh Konvensi Senjata Kimia, bahan kimia yang berpotensi digunakan untuk penghancuran massal, bahan peledak dan prekursor perangkat ledak pengganti, dan bahan kimia dengan toksisitas akut tinggi (diberi peringkat Kategori 1 dalam Sistem Harmonisasi Global tentang Klasifikasi dan Pelabelan Bahan Kimia). Baca Bab 6 dan 8 untuk informasi lebih lanjut tentang pembuatan inventaris bahan kimia.



Lihat *Lampiran A.1. Contoh Daftar Bahan Kimia Yang Perlu Diperhatikan.*

2.3.5 Mengevaluasi Fasilitas dan Mengatasi Kelemahannya

Penting untuk melakukan peran kendali akses fisik dalam meningkatkan keamanan gedung tempat menyimpan dan menggunakan bahan kimia. Hal ini mungkin memerlukan penilaian kerentanan keamanan dan penentuan kebijakan. Baca masing-masing Bab 5, 6, dan 7, untuk informasi lebih lanjut tentang fasilitas laboratorium, keamanan laboratorium, dan menilai bahaya dan risiko di laboratorium.

2.3.6 Menentukan Prosedur untuk Penanganan dan Manajemen Bahan Kimia

Manajemen bahan kimia adalah komponen penting dari program laboratorium. Keselamatan dan keamanan harus menjadi bagian dari seluruh siklus hidup bahan kimia, termasuk pembelian, penyimpanan, inventaris, penanganan, pengiriman, dan pembuangan. Proses keseluruhan diuraikan dengan lebih terperinci pada Bab 8 (mengelola bahan kimia), 9 (bekerja dengan bahan kimia), dan 11 (mengelola limbah kimia).

Manajemen bahan kimia harus memakai beberapa prosedur untuk melakukan skrining COC sebagai bagian dari proses pembelian normal. Harus ada proses inventaris untuk melacak penggunaan bahan kimia hingga sepenuhnya dipakai atau dibuang. Sistem inventaris dan penyimpanan catatan penting untuk

1. Memastikan apakah bahan kimia aman untuk digunakan;
2. Menyediakan sumber daya untuk membahas kemungkinan penggunaan bersama bahan kimia;
3. Memberikan informasi agar manajer mengetahui kapan harus memesan kembali bahan kimia;
4. Memberitahukan lokasi bahaya di laboratorium kepada lembaga tanggap darurat;
5. Menentukan kebutuhan dan penggunaan bahan kimia di masa mendatang; dan
6. Meminimalkan inventaris berlebih dan jumlah limbah kimia (yang mengurangi biaya).

Semua pegawai laboratorium harus bertanggung jawab untuk mematuhi prosedur penggunaan bahan kimia. Manajer harus mempertimbangkan cara untuk menghargai dan memberi penghargaan pada mereka yang mengikuti praktik terbaik dalam menangani dan bekerja dengan bahan kimia. Namun, manajer mungkin perlu mempertimbangkan sarana penegakan aturan jika pekerja melanggar sistem.

2.3.7 Menggunakan Kendali Teknik dan Peralatan Pelindung Diri

Kendali teknik, seperti tudung laboratorium, ventilasi buang setempat, atau kotak sarung tangan, merupakan metode utama untuk mengontrol bahaya di laboratorium kimia. Peralatan pelindung diri, seperti kaca mata pengaman, kaca mata pelindung, dan pelindung wajah, harus melengkapi peralatan kendali teknik. Manajemen laboratorium tidak boleh mengizinkan eksperimen jika kendali teknik tidak memadai atau PPE (Peralatan Pelindung Diri) tidak tersedia. Panduan tentang penanganan bahan kimia yang lebih terperinci diuraikan pada Bab 9 dan 10.

2.3.8 Membuat Rencana untuk Keadaan Darurat

Laboratorium harus membuat rencana untuk menangani keadaan darurat dan insiden tak terduga. Simpan peralatan dan bahan untuk menanggulangi keadaan darurat di tempat yang terjangkau, seperti pemadam api, pencuci mata, pancuran keselamatan, dan perangkat kerja untuk menangani tumpahan. COC bisa jadi memerlukan rencana khusus, seperti penawar racun untuk paparan yang tidak disengaja (misalnya, atropina untuk agen organofosforus). Beberapa COC bisa tiba-tiba terbakar dan memerlukan metode pemadaman api khusus. Rencana darurat harus melibatkan lembaga tanggap darurat setempat, seperti pemadam kebakaran, untuk memastikan bahwa mereka memiliki peralatan dan informasi yang memadai. Baca Bab 3 untuk perencanaan keadaan darurat yang lebih terperinci.

2.3.9 Mengidentifikasi dan Mengatasi Hambatan untuk Mengikuti Praktik Terbaik Keselamatan dan Keamanan

Praktik keamanan dan keselamatan yang baik termasuk meminta semua pegawai senantiasa mematuhi kebijakan dan prosedur. Namun, mengubah perilaku dan memupuk budaya praktik terbaik sering kali menantang. Rintangan sosial dan budaya setempat bisa mencegah manajer laboratorium, pegawai laboratorium, dan lainnya untuk mengikuti praktik keselamatan dan keamanan terbaik. Lembaga harus melakukan upaya untuk mengatasi rintangan itu, seperti yang dibahas secara rinci pada Bab 4.

2.3.10 Melatih, Menyampaikan, dan Membina

CSSO bertanggung jawab untuk menentukan prosedur keselamatan dan keamanan serta memastikan apakah semua orang mengetahui dan mematuhi prosedur itu. Namun, diperlukan komitmen yang kuat dari pimpinan teratas untuk menciptakan sistem keselamatan dan keamanan terbaik. Pimpinan teratas bertanggung jawab penuh terhadap keselamatan dan keamanan kimia. Mereka harus menciptakan budaya yang melindungi pekerja dan masyarakat.

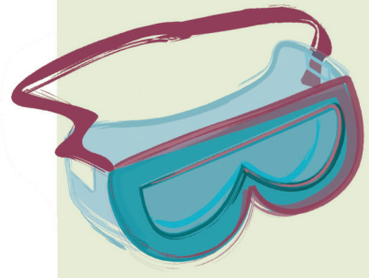


Lihat *Toolkit* yang disertakan sebagai media pendidikan yang sudah dikembangkan untuk pelatihan.

3

Perencanaan Darurat







3.1 Pendahuluan 26

3.2 Mengembangkan Rencana Kesiapsiagaan Keadaan Darurat 26

3.3 Menilai Kerentanan Laboratorium 27

3.4 Mengidentifikasi Kepemimpinan dan Prioritas 27

3.4.1 Pembuat keputusan 28

3.4.2 Pegawai Penting 28

3.4.3 Prioritas Laboratorium 28

3.5 Membuat Rencana 28

3.5.1 Kit Penyelamatan 29

3.5.2 Komunikasi 30

3.5.2.1 Daftar Kontak 30

3.5.2.2 Metode Komunikasi 30

3.5.2.3 Tempat Berkumpul 31

3.5.2.4 Hubungan Media dan Masyarakat 31

3.5.2.5 Lembaga Tanggap Darurat Luar 31

3.5.3 Evakuasi 32

3.5.3.1 Prosedur Penghentian 32

3.5.3.2 Jalur Evakuasi dan Tempat Berkumpul 32

3.5.4 Perlindungan di Tempat 32

3.5.5 Kehilangan Daya Listrik 33

3.5.5.1 Kehilangan Daya Listrik Jangka Pendek 33

3.5.5.2 Kehilangan Daya Listrik untuk Jangka Panjang 33

3.5.5.3 Perencanaan untuk Kehilangan Daya Listrik 34

3.5.6 Penutupan Lembaga atau Bangunan 34

3.5.7 Keadaan Darurat yang Mempengaruhi Masyarakat 35

3.5.8 Kebakaran atau Kehilangan Laboratorium 36

3.6 Pelatihan Keadaan Darurat 36

3.1 Pendahuluan

Meskipun sebagian besar pegawai laboratorium dipersiapkan untuk menangani tumpahan kecil atau paparan kecil bahan kimia, banyak jenis keadaan darurat berskala besar lainnya yang bisa mempengaruhi laboratorium. Keadaan darurat bisa berupa pemadaman listrik hingga banjir atau tindakan membahayakan yang disengaja.

Ada empat tahap utama untuk mengelola keadaan darurat berskala besar: mitigasi, kesiapsiagaan, tanggap darurat, dan pemulihan:

1. Tahap **mitigasi** meliputi upaya untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya insiden dan membatasi pengaruh insiden yang terjadi. Upaya mitigasi bisa jadi prosedural, seperti penyimpanan bahan dengan aman, atau bersifat fisik, seperti sistem sembur.
2. Tahap **kesiapsiagaan** adalah proses pengembangan rencana untuk mengelola keadaan darurat dan mengambil tindakan untuk memastikan bahwa laboratorium siap menangani keadaan darurat. Tahap ini termasuk menyimpan bahan dengan tepat, melatih pegawai, dan menyiapkan rencana komunikasi.
3. Tahap **tanggap darurat** mencakup upaya untuk mengelola keadaan darurat saat terjadi dan mungkin menyertakan lembaga tanggap darurat luar serta staf laboratorium. Keefektifan dan keefisienan tanggap darurat bergantung pada pemahaman semua orang terhadap peran mereka masing-masing dan perlengkapan yang mereka butuhkan. Maka dari itu, pelatihan dan perencanaan sebelumnya melakukan pekerjaan laboratorium sangatlah penting.
4. Tahap **pemulihan** meliputi tindakan yang diambil untuk mengembalikan laboratorium dan daerah yang terpengaruh ke keadaan sebelumnya sehingga kembali berfungsi dengan aman. Tahap ini juga memberikan peluang untuk mengkaji tahap lainnya.

Keempat tahap tersebut saling berkaitan. Setiap tahap mempengaruhi tahap lainnya. Namun, langkah terpenting dalam mengelola keadaan darurat adalah perencanaan.

3.2 Mengembangkan Rencana Kesiapsiagaan Keadaan Darurat

Setiap laboratorium harus memiliki *rencana kesiapsiagaan keadaan darurat*. Tingkat rincian rencana beragam, tergantung pada departemen dan rencana yang sudah ada. Perencanaan mengikuti beberapa langkah:

1. **Mengakses** jenis insiden apa yang paling mungkin terjadi untuk menentukan jenis dan lingkup perencanaan yang diperlukan.
2. **Mengidentifikasi** pembuat keputusan dan pemangku kepentingan serta prioritas laboratorium.

3. **Membuat** rencana untuk jenis keadaan darurat yang teridentifikasi dalam langkah pertama, termasuk rencana cara menangani komunikasi.
4. **Melatih** staf tentang prosedur yang dijabarkan dalam rencana tersebut.

Perencanaan keadaan darurat adalah proses dinamis. Pegawai, operasi, dan kejadian berubah, serta tidak setiap kemungkinan bisa diperhitungkan. Gunakan rencana kesiapsiagaan keadaan darurat sebagai panduan yang memungkinkan beberapa fleksibilitas dalam keadaan darurat yang sebenarnya. Langkah-langkah untuk membuat rencana dijabarkan secara lebih rinci pada bagian selanjutnya.

3.3 Menilai Kerentanan Laboratorium

Langkah pertama dalam mengembangkan rencana kesiapsiagaan keadaan darurat adalah menilai kerentanan laboratorium. Keadaan darurat seperti apa yang paling mungkin terjadi? Apa saja kemungkinan dampak keadaan darurat besar pada pengoperasian laboratorium?

Untuk setiap jenis keadaan darurat yang mungkin terjadi, manajer laboratorium dan pegawai harus mempertimbangkan riwayat kejadian di laboratorium mereka dan di laboratorium yang keadaannya sama. Jenis keadaan darurat yang harus dipertimbangkan beragam, tergantung pada jenis laboratorium, letak geografis, dan faktor lain yang unik bagi fasilitas kerja. Fokuskan perhatian lebih pada kejadian yang mungkin terjadi dan berdampak lebih besar. Keadaan darurat yang paling umum adalah berikut ini:

- kebakaran;
- bencana alam, seperti banjir atau gempa bumi;
- ketidakhadiran staf untuk waktu yang lama karena larangan perjalanan atau sakit;
- tumpahan atau lepasnya bahan berbahaya;
- pengunjung yang sangat terkenal;
- peneliti atau penelitian yang berbau politis atau kontroversial;
- tindakan kekerasan atau pencurian yang sengaja;
- hilangnya bahan laboratorium atau peralatan yang sangat penting, bernilai tinggi, atau sulit-dicari-penggantinya;
- hilangnya data atau sistem komputer;
- kehilangan daya listrik untuk waktu yang sangat lama.

3.4 Mengidentifikasi Kepemimpinan dan Prioritas

Sebelumnya, tentukan cara penggantian kepemimpinan dan prioritas yang jelas untuk membantu memberikan kepastian dalam situasi darurat. Pimpinan harus bisa membuat keputusan, menentukan prioritas, dan menjalankan rencana.

3.4.1 Pembuat keputusan

Tentukan siapa yang akan memimpin laboratorium jika terjadi keadaan darurat. Tunjuk koordinator keadaan darurat untuk mengawasi kesiapsiagaan keadaan darurat untuk laboratorium. Koordinator keadaan darurat biasanya adalah manajer laboratorium tetapi bisa juga peneliti tingkat senior di laboratorium tersebut atau individu lainnya. Buat daftar individu yang berwenang untuk membuat keputusan, termasuk komitmen keuangan. Anggap akan ada ketidakhadiran dan masukkan penggantian pimpinan. Ingatlah bahwa dalam situasi darurat, penggantian kepemimpinan yang paling praktis tidak selalu mengikuti bagan organisasi. Pastikan semua yang ada dalam daftar tersebut tahu dan paham akan tanggung jawabnya.

3.4.2 Pegawai Penting

Dalam keadaan darurat, mungkin terjadi penutupan fasilitas atau larangan perjalanan yang akan menghambat pelaporan. Jika laboratorium harus tetap beroperasi sebagian dan beberapa orang harus melapor, anggota staf tersebut harus dipandang sebagai "pegawai penting." Pastikan pegawai penting paham dan menerima tanggung jawabnya dalam keadaan darurat, yang mungkin berbeda dari tanggung jawab biasanya. Pastikan pegawai penting selalu membawa dokumentasi dari lembaga yang menyebutkan jabatannya, dan mungkin harus ditunjukkan kepada petugas penegakan hukum.

3.4.3 Prioritas Laboratorium

Pertimbangkan prioritas laboratorium, untuk mengurangi kesalahan pengambilan keputusan selama keadaan darurat. Pikirkan apa yang akan terjadi pada eksperimen dan peralatan lab jika terjadi keadaan yang membatasi pengoperasian lab. Tinjau operasi dan bahan di laboratorium dan buat daftar item dari yang paling penting hingga yang paling tidak penting.

3.5 Membuat Rencana

Rencana kesiapsiagaan keadaan darurat menyeluruh mencakup rincian tentang:

- a kit penyelamatan laboratorium;
- komunikasi;
- evakuasi;
- perlindungan di tempat;
- kehilangan daya listrik;
- penutupan lembaga atau bangunan;
- keadaan darurat masyarakat; dan
- kebakaran atau kehilangan laboratorium.

Informasi untuk membuat setiap bagian rencana ini disajikan pada bagian selanjutnya.

CONTOH DAFTAR PRIORITAS LABORATORIUM

Prioritas 1: **Melindungi nyawa manusia.** Ini mencakup staf peneliti dan pendukung.

Prioritas 2: **Melindungi hewan penelitian.** Hewan ini mencakup hewan penelitian yang didanai hibah, hewan penelitian tesis, dan hewan untuk penelitian lainnya.

Prioritas 3: **Melindungi properti dan lingkungan.** Hal ini mencakup properti yang sangat penting, peralatan bernilai tinggi, bahan yang sulit dicari penggantinya, dan bahan kimia yang perlu diperhatikan.

Prioritas 4: **Menjaga integritas penelitian.** Hal ini mencakup penelitian yang didanai hibah, penelitian terkait tesis, dan penelitian lainnya.

DAFTAR PERIKSA RENCANA KESIAPSIAGAAN KEADAAN DARURAT

- Daftar pengoperasian berprioritas tinggi
- Daftar pegawai yang dapat melakukan pengoperasian ini
- Rencana komunikasi
- Rencana cadangan data
- Penggantian kepemimpinan
- Ketergantungan utama dalam organisasi (msl., produk dan layanan penting yang disediakan oleh departemen atau kelompok lainnya) dan beberapa alternatif
- Ketergantungan utama di luar organisasi, dengan beberapa vendor alternatif
- Daftar peralatan penting, catatan pembelian, dan informasi tentang cara menggantinya secara permanen atau sementara
- Rencana dan prioritas pemugaran

3.5.1 Kit Penyelamatan

Jika terjadi keadaan darurat yang menyebabkan pegawai laboratorium harus di tempat kerja, siapkan kit penyelamatan di laboratorium dengan item berikut:

- sebuah lampu senter;
- radio dan baterai; serta
- sebuah perlengkapan pertolongan pertama.

Pegawai laboratorium harus memiliki perangkat penyelamatan pribadi yang terdiri dari item berikut:

- pakaian dan sepatu ganti;
- camilan yang tidak mudah basi;
- obat-obatan;
- air minum; dan
- larutan lensa kontak;
- selimut atau jaket.

Periksa halaman web organisasi, seperti International Red Cross (Palang Merah Internasional) untuk melihat daftar bahan yang harus dimiliki jika terjadi keadaan darurat yang mengharuskan pegawai berlindung di tempat.

3.5.2 Komunikasi

Salah satu unsur terpenting dari kesiapsiagaan keadaan darurat adalah rencana komunikasi. Pegawai laboratorium harus tahu cara mendapatkan informasi, cara menghubungi orang lain, dan cara komunikasi yang diharapkan, utamanya jika sarana komunikasi reguler terganggu.

3.5.2.1 *Daftar Kontak*

Lembaga harus memiliki informasi kontak yang banyak bagi pegawai laboratorium utama yang paham dengan operasi lab dan bisa membahasnya secara jelas dengan lembaga tanggap darurat luar. Manajer laboratorium dan pegawai lain dengan peran kepemimpinan keadaan darurat harus memiliki daftar kontak terbaru untuk semua pegawai laboratorium yang bisa diakses dari laboratorium dan rumah.

Informasi kontak harus menyertakan bisa tidaknya mereka masuk laboratorium dengan mudah selama keadaan darurat dan dengan moda transportasi yang mereka gunakan. Sertakan juga informasi nama dan kontak minimal satu teman atau anggota keluarga untuk setiap individu.



Lihat *Formulir: Lembar Informasi Keadaan Darurat Laboratorium* pada Toolkit yang disertakan.

3.5.2.2 *Metode Komunikasi*

Ada banyak cara komunikasi selama keadaan darurat. Setiap lembaga, departemen, dan kelompok laboratorium harus memiliki rencana komunikasi yang menjelaskan sarana komunikasi mana yang bisa digunakan. Pegawai laboratorium harus memahami rencana dan mengetahui apa yang bisa diharapkan dan apa yang diharapkan dari rencana itu.

- **Telepon:** Telepon sering kali menjadi cara langsung untuk menghubungi orang. Pertimbangkan sistem pemberi tahu massal yang mengirimkan pesan suara ke beberapa nomor telepon sekaligus atau rantai telepon sederhana untuk berbagi informasi. Nomor telepon dengan pesan terekam dari orang yang bertanggung jawab juga membantu. Namun, selama keadaan darurat berskala besar, sistem telepon bisa jadi sibuk atau tidak berfungsi. Instruksikan pegawai laboratorium untuk membatasi penggunaan telepon mereka selama keadaan darurat dan gunakan bentuk komunikasi lain. Jangan mengandalkan telepon untuk menyampaikan instruksi atau informasi penting.
- **Pesan tertulis:** Mengirim pesan tertulis bisa lebih diandalkan daripada layanan ponsel selama keadaan darurat berskala besar. Pesan tertulis bisa

CARA MENJALIN KOMUNIKASI YANG BAIK DENGAN LEMBAGA TANGGAP DARURAT

- Undang lembaga tersebut ke fasilitas untuk melakukan perjalanan ke daerah-daerah yang paling dikhawatirkan.
- Berikan informasi tentang area-area dengan risiko tinggi kebakaran, tumpahan, atau keadaan darurat lainnya.
- Berikan peta dan alat lainnya untuk membantu mereka masuk ke fasilitas dan kenalkan mereka dengan lokasi gedung laboratorium atau fasilitas khusus lainnya.
- Beri tahu lembaga tanggap darurat dan rumah sakit setempat tentang keberadaan bahan kimia berbahaya.

dikirim melalui ponsel atau email. Kumpulkan informasi pesan tertulis dari semua pegawai laboratorium dalam daftar kontak.

- **Email:** Kumpulkan alamat email yang bukan email kerja dari setiap orang di lab, jika sistem komputer lembaga terpengaruh keadaan darurat. Siapkan Listserv (mailing list) atau daftar email untuk digunakan selama keadaan darurat.
- **Internet dan blog:** Memposting pembaruan di situs web atau blog lembaga atau laboratorium adalah cara mudah untuk menjangkau banyak orang. Perintahkan individu untuk mengunjungi situs tersebut jika terjadi keadaan darurat.

3.5.2.3 *Tempat Berkumpul*

Tentukan tempat berkumpul untuk pegawai laboratorium. Dalam keadaan darurat, pegawai penting diharapkan untuk melapor ke tempat berkumpul tersebut baik menerima instruksi spesifik atau tidak.

3.5.2.4 *Hubungan Media dan Masyarakat*

Beberapa keadaan darurat, apa pun lingkupnya, bisa menarik perhatian media. Pastikan bahwa lembaga atau laboratorium memiliki juru bicara untuk menangani perbincangan dengan reporter. Jika terjadi insiden bahan kimia serius yang mempengaruhi masyarakat, komunikasi publik bisa ditangani oleh ketua departemen.

3.5.2.5 *Lembaga Tanggap Darurat Luar*

Beberapa keadaan darurat memerlukan polisi, pegawai pemadam kebakaran, atau ambulans atau lembaga tanggap darurat luar lainnya. Bangun komunikasi yang baik dengan lembaga tanggap darurat sebelum terjadi keadaan darurat.

3.5.3 Evakuasi

Kebakaran, tumpahan, dan keadaan darurat lainnya mungkin memerlukan evakuasi laboratorium. Semua staf laboratorium harus memahami prosedur evakuasi laboratorium.

3.5.3.1 *Prosedur Penghentian*

Beberapa operasi, bahan, atau peralatan bisa menimbulkan risiko jika dibiarkan tidak dijaga untuk waktu yang lama. Tentukan prosedur untuk menghentikan proses, eksperimen, atau peralatan selama evakuasi.

1. Buat daftar proses yang perlu dihentikan sebelum evakuasi. Tempelkan prosedur di tempat yang mudah terlihat, seperti pintu keluar, dan pastikan semua pegawai laboratorium mengetahuinya.
2. Catat risiko eksperimen yang dibiarkan tidak dijaga untuk waktu yang lama. Untuk prosedur rutin yang sesuai kategori ini, buat protokol untuk menghentikan prosedur dengan aman sebelum evakuasi.
3. Jika penghentian yang tepat tidak dilakukan sebelum evakuasi dan mungkin timbul risiko terhadap kesehatan, properti, atau lingkungan, beri tahu lembaga tanggap darurat. lembaga tanggap darurat bisa mengawal seseorang ke laboratorium untuk menghentikan proses, atau meminta saran untuk menghentikan proses itu sendiri.

3.5.3.2 *Jalur Evakuasi dan Tempat Berkumpul*

Tempelkan jalur evakuasi utama dan alternatif, beserta tempat berkumpul untuk setiap kelompok gedung atau laboratorium. Pada tempat berkumpul, koordinator keadaan darurat yang ditunjuk harus bertanggung jawab atas semua staf dan memberi tahu lembaga tanggap darurat. Manajer laboratorium harus memastikan bahwa semua pegawai mengetahui jalur evakuasi dan tempat berkumpul.

3.5.4 Perlindungan di Tempat

Untuk situasi darurat tertentu, lembaga tanggap darurat mungkin menyarankan untuk berlindung di tempat, atau tetap di dalam gedung. Di dalam laboratorium, tempelkan petunjuk yang harus dilakukan seperti di bawah ini untuk memandu ke tempat berlindung:

1. Masuk ke atau tetap di dalam gedung.
2. Jangan menggunakan lift.
3. Tutup dan kunci pintu dan jendela.
4. Jika mungkin, pergi ke tempat di dalam gedung yang tidak memiliki pintu atau jendela ke luar gedung.
5. Jika mungkin, pantau situasi melalui radio, Internet, atau telepon.

3.5.5 Kehilangan Daya Listrik

Pertimbangkan pengaruh kehilangan daya listrik untuk jangka pendek dan jangka panjang serta buat rencana untuk meminimalkan dampak negatif.

3.5.5.1 *Kehilangan Daya Listrik Jangka Pendek*

Adakalanya, dampak kehilangan daya listrik untuk jangka pendek lebih dari sekadar ketidaknyamanan. Misalnya, beberapa peralatan harus dinyalakan kembali secara manual setelah mati, yang berakibat pada kehilangan daya listrik untuk jangka panjang. Selama kehilangan daya listrik untuk jangka pendek saat ada pegawai laboratorium, lakukan tindakan berikut untuk mengurangi dampak keadaan darurat:

1. **Matikan peralatan,** terutama jika Anda pergi saat daya listrik belum pulih. Beberapa peralatan bisa rusak jika langsung dihidupkan setelah daya listrik pulih kembali. Jika tidak ada orang di laboratorium saat daya listrik pulih, peralatan yang menyala akan berjalan tanpa dijaga.
2. **Hentikan operasi yang memerlukan ventilasi setempat,** seperti tudung asap kimia. Sistem ventilasi gedung mungkin tidak aktif saat keadaan darurat.
3. **Tutup pinggiran tudung asap kimia.**

3.5.5.2 *Kehilangan Daya Listrik untuk Jangka Panjang*

Kembangkan rencana untuk meminimalkan pengaruh kehilangan daya untuk jangka waktu panjang pada sistem laboratorium berikut:

- **Sistem keamanan:** Untuk sistem keamanan khusus, seperti pembaca kartu atau kunci elektronik, tentukan apakah akan dikunci atau tidak jika terjadi kegagalan daya listrik. Buat rencana cadangan untuk keamanan laboratorium jika tidak tersedia sistem ini.
- **Kondisi lingkungan dan penyimpanan:** Masalah yang paling umum selama pemadaman listrik adalah penyimpanan bahan yang memerlukan kondisi lingkungan khusus, seperti kendali pendinginan dan kelembapan. Buat rencana cadangan untuk menghindari kerusakan bahan atau kerusakan lain karena terpapar bahan tersebut.
- **Eksperimen yang sedang berjalan:** Eksperimen yang bergantung pada daya listrik harus dihentikan dan dibongkar. Tugaskan seseorang untuk memeriksa seluruh laboratorium dan mengidentifikasi masalah serta memastikan bahwa bahan-bahan tersimpan dengan aman.

3.5.5.3 *Perencanaan untuk Kehilangan Daya Listrik*

Pertimbangkan opsi ini untuk membuat rencana saat kehilangan daya listrik dan meminimalkan pengaruhnya:

- **Daya generator:** Jika laboratorium terhubung ke generator, temukan apa yang akan terus berjalan selama kehilangan daya, seperti penerangan darurat, sistem keamanan, sistem ventilasi, atau semua sistem. Tanyakan tentang kemungkinan menghubungkan peralatan tertentu ke generator. Ketahui seberapa lama laboratorium dapat bergantung pada generator yang sedang beroperasi. Pahami bahwa dengan generator, biasanya terjadi penundaan sebentar, hingga beberapa detik, sejak terjadinya kehilangan daya hingga beban daya diambil alih oleh generator. Generator mungkin bukan pemecahan yang tepat untuk peralatan yang sensitif terhadap gangguan daya yang kecil.
- **Suplai daya tanpa sela (UPS):** Jika daya generator tidak tersedia atau jika peralatan sensitif terhadap penundaan daya sebentar, sistem suplai daya tanpa sela (UPS) dapat menjadi pilihan yang tepat untuk suplai daya selanjutnya. Sistem UPS terdiri dari baterai besar yang dapat diisi ulang yang langsung menyediakan daya darurat jika suplai utama terganggu. Sistem UPS mempunyai berbagai jenis dan ukuran. Ketika membeli UPS untuk peralatan selain komputer, berbicaralah dengan pabrik pembuat peralatan untuk membantu memilih solusi yang tepat.
- **Es kering:** Es kering mungkin berguna untuk mempertahankan suhu dalam lemari es atau freezer. Karena permintaan es kering meningkat secara signifikan selama kehilangan daya, milikilah daftar yang memuat banyak vendor. Untuk menyelamatkan sumber daya, prioritaskan bahan-bahan eksperimen yang memerlukan pendinginan dan kombinasikan bahan-bahan tersebut sebanyak mungkin.

3.5.6 Penutupan Lembaga atau Bangunan

Sebagian keadaan darurat mungkin mengharuskan penutupan laboratorium. Pastikan bahwa pegawai laboratorium tertentu telah ditunjuk dan dilatih sebagai pegawai penting (lihat Bagian 3.4.2). Lakukan langkah-langkah berikut untuk menyiapkan penutupan jangka pendek dan jangka panjang:

- **Penutupan jangka pendek:** Untuk penutupan laboratorium yang berlangsung selama sehari atau kurang, masalah utamanya adalah keamanan dan eksperimen tanpa dijaga. Jika penutupan tidak diperkirakan sebelumnya, eksperimen mungkin tetap berjalan.

Bersiaplah dengan masalah yang mungkin terjadi terkait dengan proses yang sedang berjalan.

- **Penutupan jangka panjang:** Pertimbangkan dampak penutupan jangka panjang terhadap penelitian dan layanan yang disediakan untuk kelompok luar. Beri tahu kelompok tersebut tentang gangguan layanan.

  Selama penutupan jangka panjang, ada kemungkinan untuk berbagi dengan laboratorium lain atau mendirikan laboratorium sementara di tempat lain. Buat daftar barang-barang penting untuk fasilitas alternatif:

  – peralatan dan bahan yang diperlukan untuk melakukan tugas prioritas;
  – ruang;
  – kendali lingkungan terhadap suhu, kelembapan, dsb;
  – persyaratan keamanan; dan
  – persyaratan ventilasi.

3.5.7 Keadaan Darurat yang Mempengaruhi Masyarakat

Jika keadaan darurat mempengaruhi masyarakat setempat atau daerah yang lebih luas, kembali ke pengoperasian normal laboratorium mungkin memerlukan waktu yang lama. Laboratorium mungkin dipengaruhi secara tidak langsung oleh keadaan darurat masyarakat jika produk dan layanan tidak tersedia. Lakukan langkah-langkah berikut untuk merencanakan keadaan darurat masyarakat.

- **Gangguan pengiriman produk dan layanan:** Sebagai bagian dari proses perencanaan, pertimbangkan untuk melakukan hal-hal berikut:
  – Siapkan daftar vendor dan penyedia layanan alternatif saat vendor utama tidak tersedia.
  – Pastikan bahwa vendor utama mempunyai rencana kesinambungan bisnis yang mutakhir.
  – Pastikan bahwa lembaga atau laboratorium adalah prioritas bagi vendor utama dan penyedia layanan Anda.
- **Kekurangan staf laboratorium:** Staf mungkin tidak dapat melapor ke laboratorium. Untuk kesinambungan pengoperasian laboratorium, pastikan bahwa pegawai dilatih semua keahlian agar dapat mengisi posisi pegawai yang tidak masuk. Buatlah rencana pengganti yang memperjelas siapa yang bertanggung jawab saat supervisor sedang tidak ada.

3.5.8 Kebakaran atau Kehilangan Laboratorium

Meskipun kebakaran tidak merusak laboratorium secara langsung, hal ini mungkin menyebabkan gangguan layanan, akses terbatas ke laboratorium, atau kerusakan yang disebabkan oleh asap, air, atau bahan pemadam kebakaran. Lakukan langkah-langkah ini untuk membuat rencana terkait kehilangan akibat kebakaran:



Staf laboratorium mungkin harus menghentikan pekerjaan dikarenakan terjadi keadaan darurat di struktur atau bangunan di dekatnya.

1. Menilai kerentanan dalam laboratorium. Lakukan tindakan pencegahan kebakaran (lihat Bab 8 dan 10 untuk informasi lebih lanjut tentang pencegahan kebakaran).
2. Pastikan bahwa ada tingkat deteksi yang memadai, dan sebisa mungkin, ada sistem pemadam kebakaran. Lakukan langkah-langkah tambahan untuk membatasi dampak kebakaran.
3. Pikirkan tentang cara pengelolaan laboratorium setelah kebakaran dan buat rencana untuk melanjutkan pengoperasian. Buat catatan untuk peralatan yang masih ada dan peralatan pengganti. Ketahui alternatif apa saja yang tersedia dan cara mendapatkannya untuk mempercepat dimulainya kembali kegiatan laboratorium.

3.6 Pelatihan Keadaan Darurat

Semua pegawai laboratorium harus dilatih tentang apa yang harus dilakukan dalam keadaan darurat. Topiknya meliputi:

- prosedur evakuasi;
- prosedur penghentian darurat;
- komunikasi selama keadaan darurat;
- lokasi alat pemadam kebakaran dan alat pengendali tumpahan; dan cara serta kapan menggunakannya;
- cara melaporkan kebakaran, cedera, tumpahan bahan kimia, atau keadaan darurat lainnya dan cara memanggil tindakan tanggap darurat;
- lokasi peralatan darurat, seperti pancuran keselamatan dan unit pencuci mata;
- lokasi semua pintu keluar yang tersedia untuk evakuasi dari laboratorium;
- cara polisi, pegawai pemadam kebakaran, dan lembaga tanggap darurat lainnya menangani keadaan darurat di laboratorium dan peran pegawai laboratorium dalam tindakan tanggap darurat;
- masalah keamanan;

- protokol ketidakhadiran karena larangan perjalanan atau sakit;
- praktik yang aman untuk pemadaman listrik;
- prosedur berlindung di tempat;
- protokol untuk menangani surat atau panggilan telepon yang mencurigakan; dan
- protokol khusus laboratorium yang terkait dengan perencanaan dan tindakan tanggap darurat.

Masukkan sebagai bagian program pelatihan, lakukan latihan periodik untuk membantu pelatihan dan pengevaluasian rencana keadaan darurat. Lakukan praktik pemadaman kebakaran dan uji sistem alarm secara teratur. Lakukan praktik atau latihan yang memungkinkan pegawai laboratorium melakukan simulasi tindakan mereka terhadap keadaan darurat. Praktik dan latihan ini mungkin dilakukan dalam skala penuh, yang mengharapkan orang-orang melakukan tanggung jawab mereka dan beberapa prosedur; latihan di meja, di mana individu dapat mendiskusikan tanggapan mereka, tetapi tidak melakukan tindakan secara fisik; atau kombinasi keduanya.

Pegawai laboratorium harus mengetahui tingkat keahlian mereka saat menggunakan alat pemadam kebakaran dan peralatan keadaan darurat, menangani tumpahan bahan kimia, dan menangani cedera. Mereka tidak boleh mengambil tindakan di luar batas keahlian mereka, tetapi mereka harus bergantung pada lembaga tanggap darurat yang terlatih.

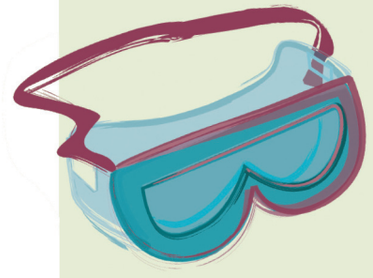
Informasi di atas harus tersedia dalam uraian prosedur keadaan darurat laboratorium dan dalam rencana kesehatan bahan kimia lembaga. Supervisor laboratorium harus memastikan bahwa semua pegawai laboratorium memahami informasi ini.



Lihat *Lampiran B.1. Sumber Informasi Bahan Kimia.*

4 Menerapkan Peraturan, Program, dan Kebijakan Keselamatan dan Keamanan







4.1 Pendahuluan 40

4.2 Kendali Administratif Penting 40

4.3 Inspeksi 41

4.4 Pelaporan dan Penyelidikan Insiden 42

4.5 Kebijakan Penegakan Peraturan dan Insentif 42

4.5.1 Pelanggaran Keselamatan 43

4.5.2 Pelanggaran Keamanan 43

4.5.3 Kegiatan Mencurigakan 43

4.6 Praktik Terbaik untuk Program Pengukuran Kinerja 43

4.6.1 Melaporkan Hasil Inspeksi 43

4.6.2 Melindungi Mereka yang Melaporkan Insiden 43

4.6.3 Memelihara Metode Pelaporan yang Dapat Diakses 44

4.6.4 Melakukan Penyelidikan 44

4.7 Dua Belas Pendekatan untuk Mengikuti Praktik Terbaik 44

4.7.1 Menetapkan Peraturan dan Kebijakan Keselamatan Organisasi, serta Strategi Penerapannya 44

4.7.2 Mengatasi Sumber Daya Keuangan yang Terbatas 45

4.7.3 Menyesuaikan Iklim 45

4.7.4 Menyediakan Pelatihan dan Pendidikan 45

4.7.5 Mendukung Istirahat dan Kesehatan Fisik dan Mental 46

4.7.6 Menegakkan Konsekuensi untuk Perilaku Berisiko 46

4.7.7 Memulihkan Tekanan Waktu dan Menghindari Jalan Pintas 46

4.7.8 Melakukan Tindakan Pencegahan Khusus untuk Wanita 47

4.7.9 Melindungi Orang di Semua Kategori Pekerjaan 47

4.7.10 Mengakomodasi Kelayakan Pakaian dan Perilaku 47

4.7.11 Menghadapi Rekan Kerja atau Atasan 48

4.7.12 Menjaga Rekan Kerja 48

4.1 Pendahuluan

Penetapan peraturan, program, dan kebijakan untuk keselamatan dan keamanan laboratorium akan berhasil dengan baik jika pimpinan lembaga menegakkannya dan jika manajer dan pekerja laboratorium mematuhinya. Insentif diperlukan untuk memastikan bahwa orang-orang memahami dan mematuhi peraturan, program, dan kebijakan. Lembaga juga harus mengidentifikasi hambatan terhadap keselamatan dan keamanan laboratorium kimia dan menemukan sejumlah cara untuk mengatasinya.

4.2 Kendali Administratif Penting

Kendali administratif penting meliputi:

- **peraturan, program, dan kebijakan yang didefinisikan dan disampaikan dengan jelas,** termasuk
  - peraturan keselamatan dan keamanan umum;
  - prosedur kebersihan dan pemeliharaan;
  - panduan penggunaan bahan dan peralatan;
  - dokumen lain yang mendefinisikan dengan jelas tanggung jawab siswa, mahasiswa, pekerja, manajer laboratorium, pimpinan lembaga, kontraktor, penyedia layanan gawat darurat, dan pengunjung;
  - pengukuran kinerja bagi semua staf; dan
  - kebijakan penegakan peraturan dan insentif bagi semua staf.
- **program pengukuran kinerja,** yang harus meliputi
  - inspeksi reguler;
  - pelaporan insiden;
  - penyelidikan insiden; dan
  - tindak lanjut atas insiden.
- **kebijakan penegakan peraturan dan insentif,** termasuk
  - penegakan peraturan, program, dan kebijakan; dan
  - pengakuan dan pemberian penghargaan.

Program pengukuran kinerja harus menekankan pada penemuan fakta, bukan penemuan kesalahan.

Program pengukuran kinerja harus menekankan pada pencarian fakta, bukan pencarian kesalahan. Prinsip ini diterapkan di semua program dan kebijakan keselamatan dan keamanan yang diterangkan di bab lainnya dalam buku ini. Memulai dan memelihara sistem pengukuran kinerja yang baik akan membantu melakukan hal berikut:

- memberikan pimpinan organisasi informasi yang berguna tentang efektivitas sistem keselamatan dan keamanan dan tentang perlunya perbaikan;

- memberikan wewenang kepada pegawai keselamatan dan keamanan yang telah ditunjuk untuk mengumpulkan laporan insiden dan melaporkan insiden ke pejabat yang lebih tinggi agar mereka mengambil tindakan;
- mendeteksi pola perilaku dan fasilitas yang tidak aman, menemukan metode untuk meningkatkan keselamatan dan keamanan, dan memulai peraturan dan aturan yang baru untuk melindungi pekerja dan siswa;
- meningkatkan kesadaran pada masalah keselamatan untuk mendorong budaya keselamatan dan keamanan yang lebih baik;
- memberikan informasi aktual kepada petugas keselamatan sehingga pelatihan bagi semua pekerja laboratorium dapat ditingkatkan dan panduan khusus dapat diberikan kepada masing-masing pekerja; dan
- memberikan informasi kepada pimpinan laboratorium sehingga mereka dapat mempelajari cara menggunakan, menguji, dan membeli peralatan pelindung diri (PPE) dan jenis peralatan lainnya yang sesuai untuk meningkatkan keselamatan.

Unsur-unsur sistem pengukuran kinerja dan kebijakan penegakan peraturan dan insentif dibahas secara lebih terperinci pada bagian berikut.

4.3 Inspeksi

Bagian sistem pengukuran kinerja yang sangat penting adalah program inspeksi reguler terhadap semua praktik dan fasilitas keselamatan dan keamanan. Namun, melakukan inspeksi masih merupakan langkah pertama. Lembaga harus memecahkan masalah untuk mencapai status yang lebih selamat dan lebih aman. Sangat penting untuk mendokumentasikan dan berbagi hasil inspeksi dan penyelesaian masalah dengan staf.



Lihat *Lampiran C.1. Jenis-jenis Program Inspeksi, C.2. Elemen Inspeksi,* dan *C.3. Item yang Dicakup dalam Inspeksi* untuk mendapatkan informasi lebih lanjut tentang inspeksi.



Lihat *Formulir: Daftar Periksa Inspeksi* dalam Toolkit yang disertakan.

Melakukan inspeksi juga memberi peluang kepada petugas keselamatan dan keamanan (CSSO) untuk memperhatikan dan memberikan penghargaan praktik terbaik

dan untuk menyampaikannya ke komunitas ilmuwan yang lebih luas. Pimpinan lembaga mungkin ingin memberikan wewenang kepada CSSO agar merekomendasikan individu atau kelompok yang berhak mendapatkan penghargaan khusus, dan bahkan penghargaan berupa materi. Lihat Bab 2 tentang sistem manajemen untuk informasi lebih lanjut tentang tanggung jawab CSSO.

4.4 Pelaporan dan Penyelidikan Insiden

Sebagai bagian dari sistem pengukuran kinerja, setiap lembaga harus menyusun proses pelaporan dan penyelidikan insiden. Proses ini harus menekankan pada pertukaran informasi yang bebas, tanpa memberikan hukuman kepada orang yang melaporkan insiden. Tujuan proses pelaporan insiden adalah membantu orang-orang untuk merasa nyaman berbagi informasi tentang masalah yang mereka ketahui dan menyebarkan gagasan bahwa keselamatan diri pekerja laboratorium adalah yang paling penting.

Bagian tersulit dari memulai proses pelaporan yang baik adalah meyakinkan pegawai agar melaporkan masalah. Pegawai harus merasa percaya pada keadilan dan objektivitas pimpinan organisasi mereka. Pimpinan lembaga harus memandang sistem pelaporan sebagai sistem pendidikan dan pelatihan bagi pekerja dan siswa yang berharga, aman dan terlatih, bukan sebagai sarana untuk membenarkan hukuman. Lembaga mungkin ingin melakukan perubahan budaya dasar dengan melakukan diskusi yang tegas dan terbuka antar karyawan, siswa, dan pimpinan. Kepercayaan dibentuk melalui tindakan. Jika pimpinan organisasi menggunakan laporan kecelakaan atau insiden sebagai dasar hukuman terhadap orang tertentu, maka pegawai tidak akan pernah mempercayai dan menggunakan sistem pelaporan.

4.5 Kebijakan Penegakan Peraturan dan Insentif

Umpan balik yang positif dan kritis diperlukan untuk memastikan bahwa peraturan keselamatan dan keamanan ditegakkan dengan benar. Kebijakan penegakan peraturan dan insentif harus membuat daftar konsekuensi dari tidak melaporkan insiden dan akibat tidak mematuhi peraturan keselamatan dan keamanan. Daftar ini juga harus menguraikan secara singkat pemberian penghargaan untuk melaporkan dan mematuhi peraturan dan prosedur. Pemberian penghargaan kepada individu dan kelompok yang menunjukkan perilaku keselamatan yang konsisten memperkuat perilaku yang diinginkan. Lembaga harus mendukung pekerja dan siswa untuk berbicara terus terang ketika mereka menyaksikan insiden, kegagalan mematuhi peraturan keselamatan, atau pelanggaran nyata. Insiden di laboratorium, seperti kebakaran di bak pencucian, kebakaran tudung bahan kimia, tumpahan bahan kimia, kecelakaan pembuangan limbah, dan pengaktifan pancuran keselamatan harus dilaporkan kepada CSSO dan supervisor laboratorium. Jenis insiden ini tidak boleh dianggap sepele meskipun tidak ada konsekuensi serius, seperti kebakaran atau cedera serius.

Ada tiga kategori umum insiden yang harus segera dilaporkan dan diatasi: pelanggaran keselamatan, pelanggaran keamanan, dan kegiatan yang mencurigakan.

4.5.1 Pelanggaran Keselamatan

Supervisor laboratorium bertanggung jawab untuk melaporkan pelanggaran keselamatan di laboratorium mereka. Supervisor harus mengisi formulir yang menunjukkan dengan jelas nama orang yang terlibat, nama departemen, tanggal dan waktu insiden atau pelanggaran terjadi, dan rincian faktor-faktor yang berkontribusi pada pelanggaran. Hukuman akibat tidak melaporkan harus cukup berat sehingga penyembunyian insiden dan pelanggaran keselamatan tidak dilakukan.

4.5.2 Pelanggaran Keamanan

Semua pelanggaran keamanan, baik kecil atau besar, harus dilaporkan secara tertulis kepada pejabat yang sesuai. Pelaporan kecelakaan keamanan membantu meningkatkan sistem keamanan, yang nilainya sangat besar dan luas. Orang-orang yang segera melaporkan pelanggaran keamanan harus diberi penghargaan.

4.5.3 Kegiatan Mencurigakan

Semua pegawai harus dilatih untuk mengawasi kegiatan atau orang yang mencurigakan. Mereka harus belajar melaporkan kegiatan tersebut tepat waktu. Orang-orang yang melaporkan kegiatan mencurigakan harus menerima penghargaan khusus dari pimpinan lembaga.



Lihat *Formulir: Laporan Insiden* dalam Toolkit yang disertakan.

4.6 Praktik Terbaik untuk Program Pengukuran Kinerja

4.6.1 Melaporkan Hasil Inspeksi

Lembaga harus mendorong komunitas laboratorium untuk melaporkan hasil inspeksi. Penghargaan positif terhadap praktik yang baik selama inspeksi akan membantu mendorong budaya keselamatan dan keamanan.

4.6.2 Melindungi Mereka yang Melaporkan Insiden

Lembaga harus membuat peraturan tertulis yang jelas untuk melindungi mereka yang menyaksikan dan melaporkan insiden keselamatan atau keamanan atau kegiatan yang mencurigakan. Sering kali, saksi tidak membuat laporan karena mereka menghindari konfrontasi dengan orang lain. Peraturan pelaporan harus memberikan

perlindungan yang lengkap dari hukuman dan menyebut anonim (tanpa nama) untuk saksi, jika diperlukan.

4.6.3 Memelihara Metode Pelaporan yang Dapat Diakses

Formulir pelaporan harus jelas, mudah, dan dapat diisi dengan cepat. Formulir yang panjang dan membosankan dapat membuat pekerja dan mahasiswa malas menggunakan sistem pelaporan. Sebagai bagian dari pelatihan keselamatan dasar dan lanjutan, semua pekerja dan siswa memerlukan instruksi tentang kapan dan bagaimana mengisi formulir. Komite keselamatan untuk lembaga harus membuat prosedur untuk menerima laporan dan mengambil tindakan yang sesuai dan tepat waktu. Lembaga juga harus mempertimbangkan diperbolehkannya pelaporan insiden tanpa nama (anonim). Harus ada tempat yang aman, situs web, atau pihak ketiga yang ditunjuk di mana seseorang dapat mengajukan secara rahasia laporan kecelakaan atau tindakan keselamatan yang patut dipertanyakan.

Tujuan pengisian formulir insiden bukan untuk menyalahkan, tetapi memungkinkan CSSO dan pimpinan lainnya mengatasi masalah keselamatan dan keamanan dasar dan untuk mengevaluasi dan memodifikasi peraturan untuk keselamatan dan keamanan laboratorium.

4.6.4 Melakukan Penyelidikan

Lembaga harus menggunakan penyelidikan untuk mengumpulkan fakta insiden, menentukan penyebab masalah, dan menyarankan perbaikan. Penyelidikan harus mengikuti proses yang dibuat oleh komite keselamatan. Semua insiden harus diselidiki, namun keseriusan insiden menentukan kedalaman setiap penyelidikan. Misalnya, insiden kecil mungkin hanya memerlukan pembicaraan telepon atau wawancara singkat dengan individu atau kelompok. Temuan semua penyelidikan harus dibuat dalam bentuk tertulis.

4.7 Dua Belas Pendekatan untuk Mengikuti Praktik Terbaik

Tugas mengubah perilaku dan memupuk budaya praktik terbaik sering kali menantang. Rintangan sosial dan budaya mungkin membuat manajer laboratorium, pegawai laboratorium, siswa, dan orang lainnya tidak mengikuti praktik terbaik keselamatan dan keamanan. Bagian ini membahas sejumlah pendekatan yang dapat digunakan untuk mengubah perilaku yang buruk dan meningkatkan keselamatan dan keamanan laboratorium.

4.7.1 Menetapkan Peraturan dan Kebijakan Keselamatan Organisasi, serta Strategi Penerapannya

Mengikuti praktik terbaik memerlukan peraturan, kebijakan dan proses yang jelas yang disepakati oleh pimpinan lembaga, petugas keselamatan dan keamanan, dan manajer laboratorium. Juga penting bahwa pemangku kepentingan utama di

organisasi menyetujui strategi yang jelas dan langsung untuk menerapkan peraturan. Peraturan harus disetujui oleh pejabat tertinggi, seperti dewan gubernur atau wali amanat, jika peraturan tersebut dimaksudkan mempunyai legitimasi dan mengikat secara hukum. Peraturan harus dicetak dan disebarkan sebagai dokumen resmi lembaga dari kantor rektor atau presiden.

4.7.2 Mengatasi Sumber Daya Keuangan yang Terbatas

Pembuatan dan perbaikan sistem praktik terbaik memerlukan dukungan keuangan yang berkelanjutan. Namun, peningkatan keselamatan tidak harus mahal. Kepemimpinan yang kuat dapat mendorong ke arah perubahan perilaku pribadi yang menghasilkan peningkatan keselamatan dan keamanan kimia. Mengubah perilaku pribadi dapat menjadi cara yang efektif dan murah untuk meningkatkan keselamatan dan keamanan kimia.

4.7.3 Menyesuaikan Iklim

Banyak praktik terbaik untuk keselamatan dan keamanan kimia dikembangkan dengan memikirkan iklim sedang. Di sebagian negara berkembang, panas dan kelembapan tinggi hampir terjadi sepanjang tahun, akan tetapi ventilasi mekanis dan penyejuk udara tidak selalu tersedia. Praktik dan peraturan keselamatan yang disarankan harus disesuaikan agar orang-orang merasa nyaman saat bekerja. Misalnya, salah satu universitas di Filipina memungkinkan staf laboratorium bekerja dalam kondisi lembab dengan membeli kaca mata pelindung percikan bahan kimia anti kabut.

4.7.4 Menyediakan Pelatihan dan Pendidikan

Pegawai memerlukan pelatihan agar mereka menyadari potensi bahaya. Tidak seorang pun diperbolehkan bekerja di laboratorium kimia tanpa pelatihan yang memadai tentang prosedur pengoperasian standar laboratorium. Manajer laboratorium harus menggunakan alat peraga pendidikan untuk mendorong praktik terbaik. Misalnya, studi kasus dapat dikembangkan dan digunakan untuk melatih pegawai laboratorium.

Pegawai laboratorium harus merasa nyaman saat meminta saran ahli kepada petugas keselamatan dan keamanan tentang apa yang harus dilakukan, sebelum mereka melanjutkan dengan tindakan yang berisiko. Petugas keselamatan dan keamanan harus mempunyai pengetahuan yang memadai dan mutakhir untuk memandu pegawai lainnya. Petugas ini dapat dikirimkan ke organisasi pertahanan sipil atau agen publik untuk mendapatkan pelatihan.

Pimpinan laboratorium, petugas keselamatan dan keamanan, dan pihak lainnya yang berwenang juga harus berhati-hati saat menulis arahan dan perintah yang akan mereka sebarkan. Materi yang disebarkan harus diperiksa ketepatan dan

kelengkapannya. Perintah yang tidak rapi, sembarangan, atau tidak berdasar informasi yang cukup dapat membahayakan.



Lihat *Panduan Instruktur* dalam Toolkit yang disertakan untuk mendapatkan informasi tentang berbagai pelajaran di kelas tentang keselamatan dan keamanan laboratorium.

4.7.5 Mendukung Istirahat dan Kesehatan Fisik dan Mental

Bekerja dalam keadaan lelah secara fisik atau mental, merupakan salah satu penyebab utama kecelakaan laboratorium dan kegagalan keamanan. Pekerja dan siswa harus mengawasi satu sama lain dan menyuruh rekan kerja yang sakit atau lelah untuk meninggalkan laboratorium dan beristirahat atau tidur sehingga mereka dapat mengatasi tekanan dan tantangan pekerjaan. Lembaga harus mendukung pekerja dan siswa untuk ikut serta dalam kegiatan ekstrakurikuler yang menarik secara teratur untuk mengurangi tekanan mental dan mencapai keseimbangan hidup yang lebih baik. Pekerja yang gembira dan cukup beristirahat adalah pekerja yang produktif dan aman.

4.7.6 Menegakkan Konsekuensi untuk Perilaku Berisiko

Lembaga terlebih dahulu harus mempublikasikan secara luas semua peraturan untuk perilaku yang aman dan hukuman akibat pelanggaran terhadap peraturan tersebut. Jika orang-orang mengetahui bahwa tidak akan ada konsekuensi dari perilaku abai atau penuh risiko atau pelanggaran keamanan, mereka tidak akan bersemangat untuk mengubah kebiasaan mereka. Konsekuensi akibat pelanggaran keselamatan atau keamanan dapat meliputi pengumuman pelanggaran, larangan penggunaan fasilitas dan peralatan laboratorium, denda berupa uang, penarikan dukungan keuangan, atau pemberhentian kerja. Konsekuensi harus sesuai dengan keseriusan pelanggaran. Untuk mendukung kepatuhan pada peraturan, pimpinan juga harus memberikan penghargaan kepada orang yang terus melakukan tindakan penyelamatan dan mempunyai perilaku yang bertanggung jawab. Pemberian penghargaan dapat berupa uang atau penghargaan yang layak.

4.7.7 Memulihkan Tekanan Waktu dan Menghindari Jalan Pintas

Mencoba melakukan proses laboratorium yang terlalu cepat dapat menyebabkan kesalahan dan kecelakaan atau insiden. Jalan pintas dalam prosedur pengoperasian standar dapat mengurangi keselamatan. Supervisor dan pimpinan laboratorium harus memahami waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas yang diberikan. Mereka harus menghindari peningkatan permintaan produktivitas atau

kecepatan. Dalam merancang eksperimen, supervisor harus berkonsultasi dengan pekerja agar jumlah waktu yang diperlukan untuk setiap langkah eksperimen memadai. Waktu yang memadai diperlukan untuk melakukan segala hal dengan baik. Pendidikan dan pelatihan tambahan mungkin diperlukan untuk memberikan pekerja insentif agar menghindari jalan pintas yang berbahaya. Setiap orang di laboratorium harus mempelajari konsekuensi jalan pintas dan hukuman akibat melakukannya. Rekan kerja harus belajar mendorong satu sama lain untuk bekerja dengan aman.

4.7.8 Melakukan Tindakan Pencegahan Khusus untuk Wanita

Wanita memerlukan upaya keselamatan tambahan untuk melindungi kesehatan reproduksi mereka. Misalnya, bahan kimia tertentu merupakan racun bagi organ reproduksi mereka sehingga bahan ini sebaiknya tidak mereka tangani. Pimpinan lembaga harus memastikan bahwa pegawai laboratorium wanita mempunyai panduan, pelatihan, dan peralatan yang tepat yang diperlukan untuk keselamatan dan keamanan mereka.

Selain itu, tradisi budaya mungkin melarang pria memberikan bantuan fisik yang dibutuhkan oleh wanita saat mereka dalam keadaan darurat. Jika terjadi situasi semacam itu, kantor keselamatan dan keamanan laboratorium harus mempekerjakan campuran pria dan wanita.

4.7.9 Melindungi Orang di Semua Kategori Pekerjaan

Penting agar laboratorium menyediakan PPE (peralatan pelindung diri) dan pelatihan yang memadai bagi semua pekerja yang terpapar atau menangani bahan kimia berbahaya sehingga mereka dapat menghindari bahaya terhadap kesehatan mereka saat mengerjakan tugas. Pegawai ini meliputi setiap orang, dari kimiawan terlatih yang bekerja di laboratorium hingga orang-orang yang bekerja dengan kategori pekerjaan rendah, misalnya seseorang yang membersihkan alat dari kaca, ruang kelas, atau laboratorium. Pimpinan lembaga harus menjadi teladan untuk perlakuan yang adil, obyektif, dan berperikemanusiaan terhadap semua pekerja dan siswa.

Dalam beberapa kasus, pimpinan mungkin diwajibkan secara hukum melakukan hal tersebut. Denda perorangan dalam jumlah yang besar atau bahkan hukuman penjara dapat dikenakan jika pimpinan tidak memberikan lingkungan kerja yang selamat dan aman bagi mahasiswa dan staf.

4.7.10 Mengakomodasi Kelayakan Pakaian dan Perilaku

Semua staf dan pengunjung laboratorium harus dididik tentang pentingnya memakai pakaian yang tepat dan sepatu pelindung. Mereka harus mempunyai akses mudah ke pakaian yang layak di laboratorium, seperti jas lab dan sarung tangan, meskipun mereka lebih memilih memakai pakaian biasa di luar laboratorium. Emosi

dan kesederhanaan mungkin membuat orang tidak suka, terutama wanita, melakukan tindakan pencegahan jika mereka telah terpercik oleh bahan berbahaya. Sebagian staf mungkin tidak mau langsung mengganti pakaian mereka yang terkontaminasi atau menggunakan pancuran keselamatan dengan benar. Untuk memenuhi kelayakan pakaian dan perilaku, korden yang sederhana harus ditambahkan di pancuran keselamatan, dan pakaian ganti harus disediakan di dekat pancuran tersebut. Penting juga bagi lembaga untuk menyediakan waktu atau lokasi laboratorium yang terpisah untuk siswa pria dan wanita. Lembaga mungkin perlu merancang secara khusus pakaian dan peralatan pelindung diri yang dapat dipakai di dalam atau di luar pakaian tradisional.

4.7.11 Menghadapi Rekan Kerja atau Atasan

Pekerja laboratorium mungkin menyaksikan pelanggaran keselamatan dan keamanan, tetapi mereka takut berkonfrontasi dengan rekan kerja atau pejabat. Hal ini merupakan perasaan dan reaksi normal yang harus dilawan dengan merahasiakan identitas informan, jika perlu, sehingga melindungi informan dan mencegah balas dendam.

Penanganan yang tepat untuk situasi tersebut sangat tergantung pada peraturan yang dipublikasikan dengan jelas dan strategi yang obyektif, adil, dipublikasikan dengan baik dan dipahami untuk menyelidiki kecelakaan dan menerapkan konsekuensi. Pelapor tidak boleh disalahkan, sebaliknya mereka harus dihargai karena memberikan informasi yang berguna.

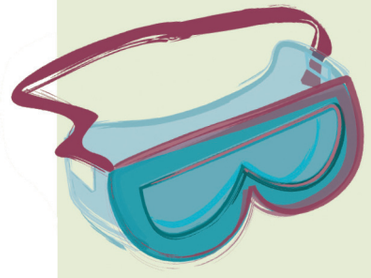
4.7.12 Menjaga Rekan Kerja

Lembaga harus membuat peraturan khusus atau panduan yang tegas mengenai kapan dan bagaimana membantu orang lain dan diri sendiri dalam keadaan darurat. Dan yang terpenting, pegawai dan siswa harus didorong untuk bekerja sama dengan orang lain untuk mencegah kecelakaan dan keadaan darurat. Semua pekerja laboratorium dan siswa harus menerima pendidikan tentang pentingnya memakai peralatan pelindung diri (PPE) dan menggunakannya dengan benar, yang merupakan peraturan keselamatan laboratorium yang sangat penting.

5

Fasilitas Laboratorium







5.1 Pendahuluan **50**

5.2 Pertimbangan Rancangan Laboratorium Umum **50**

5.2.1 Hubungan Antara Ruang Laboratorium Basah dan Ruang Lainnya 50

5.2.2 Hubungan Antara Laboratorium dan Ruang Kantor 50

5.2.3 Ruang Bersama 50

5.2.4 Masalah Kebisingan dan Getaran 51

5.2.5 Peralatan dan Utilitas Keselamatan 51

5.3 Program Inspeksi Laboratorium **52**

5.4 Ventilasi Laboratorium **52**

5.4.1 Penilaian Risiko Ventilasi 53

5.4.2 Ventilasi Laboratorium Umum dan Sistem Kendali Lingkungan 54

5.4.3 Tudung Laboratorium 54

5.4.3.1 Panduan untuk Memaksimalkan Efisiensi Tudung 55

5.5 Sistem Khusus **56**

5.5.1 Kotak Sarung Tangan 56

5.5.2 Ruang Bersih 57

5.5.3 Lemari Keselamatan Biologis 57

5.6 Program Manajemen Sistem Ventilasi **58**

5.6.1 Kriteria Desain 58

5.6.2 Program Pelatihan 59

5.6.3 Inspeksi dan Pemeliharaan 60

5.1 Pendahuluan

Semua laboratorium harus dirancang untuk memudahkan kerja eksperimen serta mengurangi kecelakaan. Pekerja laboratorium harus memahami cara kerja fasilitas. Semua pegawai terlatih harus memahami kemampuan dan keterbatasan sistem ventilasi, kendali lingkungan, tudung laboratorium, dan perangkat buang lainnya serta cara menggunakannya dengan benar. Kerja eksperimen harus dipandang sebagai bagian dari seluruh laboratorium dan fasilitasnya, baik untuk masalah keselamatan maupun efisiensi.

5.2 Pertimbangan Rancangan Laboratorium Umum

5.2.1 Hubungan Antara Ruang Laboratorium Basah dan Ruang Lainnya

Laboratorium modern sering dilengkapi dengan laboratorium basah dan ruang lain dengan berbagai derajat penggunaan dan bahaya bahan kimia.

- Bila memungkinkan, pisahkan area bahan kimia basah atau yang memiliki derajat bahaya lebih tinggi dari area dengan tingkat bahaya rendah lainnya dengan pembatas fisik, seperti dinding, pemisah, atau perangkat kendali.
- Jika area semacam itu tidak dapat dipisahkan secara fisik, atau bila risiko tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, petugas keselamatan dan keamanan kimia (CSSO) harus mengevaluasi tingkat perlindungan yang diperlukan untuk mengontrol risiko paparan di area bahaya-rendah. Misalnya, pegawai di lab komputer mungkin perlu mengenakan pelindung mata jika berada terlalu dekat dengan area tempat bahan kimia berbahaya sedang ditangani.

5.2.2 Hubungan Antara Laboratorium dan Ruang Kantor

Hampir semua pekerja laboratorium memerlukan ruang pendukung di kantor yang berada di dekat lab. Bila memungkinkan, tempatkan semua kantor di luar laboratorium agar ruang kerja lebih aman dan tenang. Tempatkan zona kantor sangat dekat dengan atau di sekitar laboratorium agar akses dan komunikasi mudah.

Jika laboratorium harus memiliki ruang kantor di dalam area penelitian, buat pemisah yang tampak di antara area laboratorium dan area kantor dengan menggunakan partisi atau, minimal, gang. Buatlah jalan keluar dari kantor yang tidak melintasi ruang laboratorium.

5.2.3 Ruang Bersama

Beberapa peralatan mungkin digunakan bersama oleh peneliti dan kelompok penelitian. Letakkan peralatan bersama di tempat yang bukan bagian dari zona kerja individu. Jika terletak di dekat lab, peralatan dapat diberi dinding untuk mengurangi kebisingan. Peralatan tertentu, seperti freezer dan inkubator yang berisi

sampel sangat berharga, harus dilengkapi dengan alarm. Tentukan peralatan apa saja yang harus diperuntukkan bagi pengguna tertentu dan tidak digunakan bersama.

Peralatan yang dapat digunakan bersama antara lain

- HPLC;
- Mesin es;
- Kotak penimbang (weigh enclosure);
- NMR;
- Timbangan;
- Inkubator;
- Kromatograf gas;
- Alat Sentrifuga;
- Lemari es, freezer;
- Spektrometer massa;
- pH meter; dan
- Oven.

Catatan: HPLC = high-performance liquid chromatography (kromatografi cair kinerja tinggi);
NMR = nuclear magnetic resonance (resonansi magnetik inti).

5.2.4 Masalah Kebisingan dan Getaran

Saat perencanaan awal laboratorium, pilih lokasi terbaik untuk setiap peralatan yang menghasilkan kebisingan atau peka terhadap getaran. Peralatan besar, seperti sentrifuga, alat kocok, dan rendaman air, sering kali bekerja paling baik di ruang peralatan terpisah dimana peralatan tersebut dapat terlihat tetapi tidak terdengar.

Pertimbangan lainnya adalah toleransi getaran yang diizinkan. Sebagian besar peralatan analitis, seperti resonansi magnetik inti (NMR) spektrometer, mikroskop sensitif, spektrometer massa, dan peralatan yang menggunakan laser akan memerlukan meja isolasi getaran dan/atau daerah yang strukturnya dirancang untuk meminimalkan getaran. Lakukan klarifikasi persyaratan untuk toleransi ini dengan pabrik peralatan.

5.2.5 Peralatan dan Utilitas Keselamatan

1. Masing-masing laboratorium harus memiliki satu atau lebih pancuran keselamatan, unit pencuci mata, dan pemadam api yang dapat diakses dengan mudah oleh pegawai laboratorium. Lihat *Lampiran I.1. Tindakan Pencegahan jika Bekerja dengan Peralatan Khusus* untuk informasi lebih lanjut.
2. Sistem penyiram (sprinkler) mungkin diperlukan dan dianjurkan. Untuk daerah dengan peralatan atau bahan peka air, pertimbangkan sistem pra-tindakan sebagai kebalikan dari sistem kering atau alternatif yang tidak berfungsi dengan tudung laboratorium dan ventilasi lainnya.



Pancuran keselamatan dan pencuci mata dapat dipasang sebagai satu unit.





Pemadam api dan alarm kebakaran merupakan peralatan keselamatan standar untuk laboratorium.

3. Letakkan sakelar pematian utilitas di luar atau di jalan keluar laboratorium. Tombol pembersih ruang harus diletakkan di jalan keluar laboratorium dengan diberi tudung.
4. Pasang banyak outlet pasokan listrik untuk mengurangi kebutuhan kabel ekstensi dan adaptor multi-steker. Letakkan panel listrik di area terjangkau. Pasang pemutus rangkaian salah arde (GFCI) di dekat wastafel dan area basah.
5. Sediakan daya darurat yang sesuai jika terjadi pemadaman listrik.
6. Bila memungkinkan, pasang loop (saluran melingkar) air dingin untuk peralatan yang memerlukan pendinginan untuk menghemat energi, air, dan biaya pemasangan pipa drainase.

Lihat *Lampiran D.1. Pertimbangan Rancangan untuk Casework, Perabotan, dan Peralatan Tetap* untuk mendapatkan informasi lebih lanjut tentang peralatan tetap dan perabotan laboratorium.

5.3 Program Inspeksi Laboratorium

Setiap lembaga harus mengadakan program inspeksi laboratorium berkala untuk menjaga keselamatan fasilitas, peralatan dan pegawai laboratorium. Untuk informasi lebih lanjut tentang program inspeksi, lihat Bab 4.

Lihat *Lampiran C.1. Jenis Inspeksi, Lampiran C.2. Unsur Inspeksi,* dan *Lampiran C.3. Item yang Dicakup dalam Inspeksi* untuk mendapatkan informasi lebih lanjut tentang inspeksi.

Lihat *Formulir: Daftar Periksa Inspeksi* pada Toolkit yang disertakan.

5.4 Ventilasi Laboratorium

Sistem ventilasi laboratorium penting untuk mengontrol bahan kimia yang terbawa di udara dalam laboratorium. Sistem ventilasi laboratorium yang dirancang dengan baik pasti disertai, minimal,

- pemanas dan pendingin yang memadai untuk kenyamanan pegawai dan pengoperasian peralatan, dan

- perbedaan antara jumlah udara yang dibuang dari laboratorium dan jumlah yang dipasok ke laboratorium untuk menjaga tekanan "negatif" antara ruang laboratorium dan ruang non-laboratorium di dekatnya. Perbedaan tekanan ini mencegah uap kimia meninggalkan laboratorium secara tidak terkendali.

5.4.1 Penilaian Risiko Ventilasi



Ventilasi buang yang fleksibel membawa asap ke luar.

Ada banyak perangkat yang dapat digunakan untuk mengendalikan paparan atau kumpulan bahan laboratorium di atmosfer. Penilaian risiko membantu menentukan pilihan terbaik untuk operasi atau bahan tertentu.

Untuk semua bahan, tujuannya adalah menjaga konsentrasi di udara berada di bawah batas paparan yang ditentukan (lihat Bab 7). Jika tidak ada batas paparan yang ditentukan, bila ada campuran, atau jika reaksi dapat terjadi pada produk yang tidak diuraikan dengan lengkap, sebaiknya menjaga paparan serendah mungkin yang dapat dijangkau. Ini adalah prinsip ALARA (as low as reasonably achievable - serendah mungkin yang dapat dijangkau).

- Untuk **bahan kimia,** cari tahu apakah bahan tersebut mudah terbakar atau reaktif atau apakah menyebabkan bahaya kesehatan jika terhirup. Jika ada bahan kimia yang menyebabkan risiko, lihat sifat fisik bahan kimia itu, terutama *tekanan uap* dan *rapat uapnya*.
  - Periksa tekanan uap bahan kimia. Tekanan uap rendah (kurang dari 10 mm Hg) menandakan bahwa bahan kimia tersebut tidak mudah membentuk uap pada suhu ruang dan ventiasi lab umum atau alternatif seperti belalai gajah atau snorkel mungkin sesuai. Tekanan uap yang tinggi menandakan bahwa bahan tersebut dengan mudah membentuk uap dan mungkin memerlukan kotak berventilasi, seperti tudung laboratorium.
  - Bandingkan kepadatan uap dengan udara, yang memiliki kepadatan 1. Bahan kimia yang memiliki kepadatan uap lebih besar dari 1 dapat dikendalikan dengan tudung laboratorium atau perangkat ventilasi yang menarik udara dari bawah, seperti meja downdraft, tudung lubang, atau belalai gajah dengan pipa buangan diarahkan ke bawah. Bahan kimia dengan kepadatan uap kurang dari 1 akan memerlukan perangkat ventilasi yang menarik udara dari atas, seperti belalai gajah atau snorkel dengan buangan diarahkan ke atas.
- Untuk **bahan radioaktif atau biologi,** pertimbangkan apakah pengoperasian dapat menyebabkan bahan berubah menjadi aerosol atau

tersebar di udara dan apakah hal ini menimbulkan risiko bagi kesehatan atau lingkungan. Tentukan apakah filtrasi atau penjebakan diperlukan atau dianjurkan.

- Untuk **partikulat,** tudung laboratorium atau peralatan serupa dengan aliran udara tinggi mungkin terlalu turbulen. Kotak penimbang atau kotak timbangan berventilasi lebih sesuai.
- Untuk **bahan nano,** pertimbangkan apakah tudung laboratorium mungkin terlalu turbulen. Tentukan juga apakah perlu menyaring buangan yang mengandung partikel kecil ini. Penelitian telah menunjukkan bahwa filter HEPA (high-efficiency particulate air - udara partikulat efisiensi tinggi) sangat efektif untuk partikel berukuran nano. Pertimbangkan juga bahwa tudung laboratorium memungkinkan kebocoran sangat kecil di di luar tudung, yang mungkin bervolume besar bila terkait partikel nano. Ventilasi lainnya, seperti lemari biokeselamatan, mungkin lebih sesuai. Lihat Bagian 5.5.3.

5.4.2 Ventilasi Laboratorium Umum dan Sistem Kendali Lingkungan

Sistem ventilasi umum mengendalikan kuantitas dan kualitas jumlah udara yang dipasok ke dan dikeluarkan dari laboratorium. Sistem ventilasi umum harus mengganti udara secara terus menerus agar konsentrasi unsur yang berbau atau beracun tidak meningkat saat hari kerja dan tidak disirkulasi dari laboratorium ke laboratorium.

Sistem pembuangan terdiri dari dua kategori utama: umum dan khusus. Sistem umum melayani laboratorium sebagai satu kesatuan dan mencakup perangkat seperti tudung laboratorium dan snorkel. Sistem khusus digunakan untuk tudung isotop, tudung asam perklorik, atau sumber bahaya tinggi lainnya yang memerlukan isolasi dari sistem pembuangan laboratorium umum.



Lihat *Lampiran D.2. Kontrol Ventilasi Laboratorium* untuk mendapat gambaran umum tentang jenis sistem ventilasi dan penggunaannya.

5.4.3 Tudung Laboratorium

Tudung laboratorium (dikenal juga sebagai tudung asap kimia) adalah komponen terpenting yang digunakan untuk melindungi pekerja laboratorium dari paparan bahan kimia dan bahan yang digunakan di dalam laboratorium. Tudung laboratorium standar adalah kotak tahan api dan bahan kimia yang memiliki satu bukaan (muka) di depan dengan daun pintu yang dapat digeser (pintu geser) untuk memungkinkan pengguna mengakses bagian dalam. Udara dalam volume besar ditarik melalui muka dan keluar dari atas untuk menampung dan menghilangkan kontaminan dari laboratorium.

Tudung laboratorium harus dianggap sebagai perangkat keselamatan cadangan yang dapat menampung dan membuang bahan beracun, penyebab cedera, atau mudah terbakar saat perangkat eksperimen atau prosedur gagal dan uap atau debu keluar dari peranti yang sedang digunakan. Tudung laboratorium adalah piihan terbaik, terutama jika terdapat campuran atau produk yang tak dikenal dan ketika perlu mengelola bahan kimia menggunakan prinsip ALARA.

5.4.3.1 *Panduan untuk Memaksimalkan Efisiensi Tudung*

Banyak faktor dapat mengganggu efisiensi pengoperasian tudung. Ikuti praktik berikut untuk memaksimalkan efisiensi tudung:

1. Tetap hidupkan kipas buang tudung laboratorium sepanjang waktu.
2. Bila mungkin, posisikan pintu geser tudung laboratorium sehingga pekerjaan dilakukan dengan mengulurkan lengan di bawah atau di sekitar pintu geser, dengan kepala di bagian depan pintu geser, dan mempertahankan pintu geser antara pekerja dan sumber bahan kimia. Pintu geser akan bertindak sebagai pembatas primer jika terjadi tumpahan, percikan, atau ledakan.
3. Hindari membuka dan menutup pintu geser tudung laboratorium dengan cepat, dan hindari pergerakan lengan dan tubuh dengan cepat di depan atau di dalam tudung.
4. Letakkan sumber bahan kimia dan peranti paling tidak 6 inci (15 cm) di belakang muka tudung. Pertimbangkan untuk mengecat garis berwarna atau menempelkan pita ke permukaan kerja tudung sejauh 6 inci (15 cm) ke arah belakang dari muka tudung untuk bertindak sebagai pengingat. Konsentrasi kontaminan di zona napas dari sumber yang terletak di depan muka tudung mungkin 300 kali lebih tinggi dari sumber yang terletak paling sedikit 6 inci ke belakang.



Bekerja dengan bahaya besar dalam tudung terpisah dari kerja tujuan umum.

5. Letakkan peralatan sejauh mungkin ke bagian belakang tudung sepanjang masih praktis tanpa menghalangi sekat bawah.
6. Pisahkan dan naikkan masing-masing instrumen dengan menggunakan balok atau rak sehingga udara dapat mengalir dengan mudah di sekeliling semua peranti.

7. Jangan menggunakan peralatan besar di dalam tudung, karena ini cenderung menghambat aliran udara dan mengurangi efisiensi tudung.
8. Jika peralatan besar mengeluarkan asap atau panas di luar tudung laboratorium, gunakan tudung khusus yang dirancang dan dipasang untuk memberi angin bagi perangkat tersebut.
9. Jangan mengubah tudung laboratorium dengan cara apa pun yang memperburuk kinerja tudung. Pengubahan meliputi penambahan, pelepasan, atau penggantian salah satu komponen tudung laboratorium, seperti sekat, pintu geser, airfoil, lapisan, dan koneksi buang.
10. Pastikan semua uap yang sangat beracun atau menyebabkan cedera telah dibersihkan dan diserap sebelum gas keluar dilepaskan ke sistem pembuangan tudung.
11. Pertahankan pintu geser tetap tertutup ketika tudung tidak digunakan secara aktif atau sedang tidak dijaga.
12. Jaga agar tudung laboratorium dan daerah kerja di sekitarnya bersih dan bebas puing sepanjang waktu.
13. Jaga agar benda dan bahan padat (seperti kertas) tidak masuk ke saluran buang tudung, karena dapat tertinggal di saluran atau kipas dan mengganggu pengoperasiannya.
14. Simpan peralatan dan pecah-belah yang tidak diperlukan di luar tudung sepanjang waktu dan simpan semua bahan kimia di kaleng, wadah atau lemari yang disetujui (tidak di dalam tudung laboratorium).
15. Jaga kerapian dan kebersihan ruang kerja dalam pekerjaan yang melibatkan penggunaan tudung untuk menghindari gangguan, atau bahkan perusakan, pekerjaan yang sedang dilakukan.

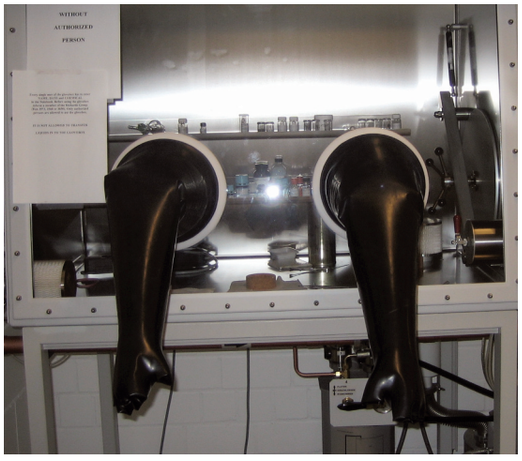


Lihat *Lampiran D.3. Tudung Laboratorium* untuk mendapatkan informasi lebih lanjut.

5.5 Sistem Khusus

5.5.1 Kotak Sarung Tangan

Tidak seperti tudung laboratorium, kotak sarung tangan sepenuhnya tertutup dan di bawah tekanan negatif atau positif. Kotak sarung tangan biasanya berupa unit kecil dengan beberapa sarung tangan karet sepanjang lengan, yang digunakan operator untuk bekerja di dalam.



Kotak sarung tangan digunakan jika pegawai atau eksperimen memerlukan perlindungan khusus.

Kotak sarung tangan yang beroperasi di bawah tekanan negatif biasanya digunakan untuk bahan yang sangat beracun, jika tudung laboratorium tidak menawarkan perlindungan memadai. Prinsip dasarnya adalah tudung laboratorium akan menawarkan perlindungan hingga 10.000 kali konsentrasi berbahaya langsung dari bahan kimia itu. Buangan kotak sarung tangan harus disaring atau dibersihkan sebelum dilepaskan ke sistem pembuangan. Karena kotak sarung tangan dirancang dengan tingkat aliran udara sangat rendah, maka tingkat pengenceran kontaminan minimal. Karena itu, perangkat ini harus diuji kebocorannya secara rutin. Jika ditemukan kebocoran, identifikasi dan perbaiki sumber pelepasan kontaminan sebelum melanjutkan pekerjaan apa pun.

Kotak sarung tangan yang beroperasi di bawah tekanan positif mungkin digunakan untuk eksperimen yang memerlukan perlindungan dari embun atau oksigen maupun atmosfer lembam dengan kemurnian tinggi. Dalam banyak kasus, bilik diberi tekanan dengan argon atau nitrogen. Jika jenis kotak sarung tangan ini akan digunakan dengan bahan kimia berbahaya, periksa kebocoran kotak sarung tangan setiap kali sebelum digunakan. Gunakan metode untuk memantau integritas sistem, seperti katup penutup atau pengukur tekanan.

5.5.2 Ruang Bersih

Ruang bersih adalah laboratorium khusus atau ruang kerja dimana udara dalam volume besar dipasok melalui filter HEPA untuk mengurangi partikulat yang terdapat di dalam ruangan. Bahan konstruksi dan teknik konstruksi khusus, peralatan penanganan udara, filter, garmen, dan prosedur diperlukan, tergantung tingkat kebersihan fasilitas. Berkonsultasilah dengan konsultan atau ahli laboratorium dalam pengoperasian ruang bersih sebelum ruang bersih dibangun atau digunakan.

5.5.3 Lemari Keselamatan Biologis

Lemari keselamatan biologis (BSC) adalah perangkat penampung dan perlindungan biasa yang digunakan dalam laboratorium yang bekerja dengan agen biologis. BSC dirancang dan dibangun secara khusus untuk menawarkan perlindungan bagi pekerja serta udara bersih dan tersaring untuk bahan di dalam ruang kerja. Lemari ini mungkin juga efektif untuk mengendalikan nanopartikel. BSC dan fasilitas lainnya tempat menangani organisme hidup memerlukan konstruksi dan prosedur pengoperasian khusus untuk melindungi pekerja dan lingkungan. Tudung laboratorium konvensional tidak boleh sekali-kali digunakan untuk bekerja dengan sebagian besar agen biologis atau untuk menampung bahaya biologis.

BSC *tidak* sesuai untuk bekerja dengan bahan kimia berbahaya. Sebagian besar BSC membuang udara terkontaminasi kembali ke lab melalui filter HEPA yang tidak akan menampung banyak bahan berbahaya, terutama gas, asap, atau uap.

5.6 Program Manajemen Sistem Ventilasi

Sistem ventilasi laboratorium adalah salah satu aspek terpenting dari keselamatan laboratorium dan mungkin juga konsumen energi tertinggi dalam gedung laboratorium. Mengelola semua segi dari sistem ventilasi itu penting untuk memaksimalkan keselamatan dan penghematan energi. Secara keseluruhan, ada tiga aspek utama dari program manajemen sistem ventilasi: kriteria rancangan, pelatihan untuk pegawai laboratorium, dan perawatan sistem.

5.6.1 Kriteria Desain

Lembaga harus menentukan kriteria yang akan digunakan untuk semua tudung laboratorium dan sistem ventilasi lainnya. Kriteria ini dapat meliputi:

- pemeriksaan desain tudung laboratorium (msl., kriteria kecepatan muka pada ketinggian pintu geser, desain pintu geser tertentu);
- jenis sistem pemantauan berkelanjutan yang disukai atau diperlukan (msl., angka indikator kecepatan muka, indikator magnehelik);
- jumlah tudung asap yang tersedia per orang atau per total area gedung (msl., faktor keberagaman);
- strategi konservasi energi;

PERTIMBANGAN PEMANGKU KEPENTINGAN

Perancang Laboratorium:

Sistem ventilasi apa yang kita gunakan?

Pegawai Laboratorium Terlatih:

Sistem apa yang saya gunakan?

Bagaimana dan kapan saya menggunakannya?

Manajer Fasilitas:

Seberapa sering dan bagaimana cara kita mempertahankan sistem?

Manajer Laboratorium dan Manajer Keselamatan:

Seberapa sering dan bagaimana cara kita menginspeksi sistem?

Pelatihan apa yang diperlukan dan bagaimana cara memberikannya?

- sistem alarm;
- jenis pekerjaan saluran;
- kriteria kebisingan;
- preferensi untuk sistem volume udara variabel (VAV) (msl., merancang satu kipas ekstra ke masing-masing sistem); dan
- sumber daya cadangan.



Monitor aliran udara membunyikan alarm jika aliran udara buang turun hingga di bawah tingkat yang ditentukan.

5.6.2 Program Pelatihan

Pelatihan pegawai laboratorium itu *penting* dalam manajemen ventilasi. Semua manajer, pekerja, dan siswa harus mendapat perlatihan yang mencakup

- cara menggunakan peralatan ventilasi;
- konsekuensi penggunaan yang tidak benar;
- hal yang harus dilakukan jika terjadi kegagalan sistem;
- hal yang harus dilakukan jika terjadi pemadaman listrik;
- pertimbangan atau peraturan khusus untuk peralatan; dan
- pentingnya label, tanda, dan lain-lain.

Adakan pelatihan dalam suatu format yang sesuai dengan lembaga, termasuk pelatihan satu lawan satu, di kelas, atau jarak jauh.

Label dan tanda yang baik akan menyempurnakan pelatihan dan akan senantiasa menjadi pengingat. Pertimbangkan jenis label dan tanda berikut:

- posisi pintu geser untuk tudung laboratorium;
- pita atau bahan serupa pada pintu geser tudung laboratorium sebagai indikator kecukupan aliran udara;
- arti semua alarm audio atau visual;
- fungsi sensor penggunaan (msl., mode setback dihubungkan dengan sakelar lampu);
- waktu henti jika sistem memiliki mode setback pada pengatur waktu; atau
- pengingat untuk menurunkan pintu geser jika tidak sedang digunakan secara aktif.



Lihat *Tanda* pada Toolkit yang disertakan sebagai contoh.

5.6.3 Inspeksi dan Pemeliharaan

Pemeliharaan adalah kunci program manajemen sistem ventilasi. Program harus menguraikan unsur-unsur program inspeksi dan pemeliharaan, antara lain

- siapa yang melakukan inspeksi dan seberapa sering;
- bagaimana cara inspeksi dicatat;
- kriteria inspeksi untuk tudung laboratorium, seperti
  - pengujian kecepatan muka, termasuk peralatan yang digunakan dan riwayatnya;
  - metode pencatatan kecepatan;
  - jenis informasi yang akan dipasang pada tudung; dan
  - apakah ketinggian pintu geser maksimal akan ditandai dan alasannya;
- kriteria untuk bekerja di atap dan di sekeliling tumpukan;
- jadwal pemeliharaan kipas;
- jadwal pemeliharaan sistem VAV;
- jadwal pemeliharaan alarm dan kontrol; dan
- jadwal pengawasan ulang untuk sistem ventilasi.

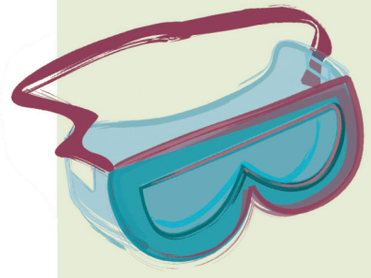


Lihat *Lampiran D.4. Perawatan Sistem Ventilasi* untuk mendapatkan informasi lebih lanjut tentang pelaksanaan perawatan sistem ventilasi.

6

Keamanan Laboratorium







6.1	**Pendahuluan**	**62**
6.2	**Dasar Keamanan**	**62**
6.3	**Menentukan Tingkat Keamanan**	**63**
6.3.1	Normal atau Tingkat Keamanan 1	63
6.3.2	Menengah atau Tingkat Keamanan 2	64
6.3.3	Tinggi atau Tingkat Keamanan 3	65
6.4	**Mengurangi Bahaya Penggunaan-Ganda Bahan Laboratorium**	**65**
6.5	**Menetapkan Keamanan Informasi**	**67**
6.5.1	Membuat Cadangan Data	67
6.5.2	Melindungi Informasi Rahasia atau Sensitif	67
6.6	**Melakukan Penilaian Kerentanan Keamanan**	**68**
6.7	**Membuat Rencana Keamanan**	**69**
6.8	**Mengelola Keamanan**	**70**
6.9	**Kepatuhan pada Peraturan**	**70**
6.10	**Keamanan Fisik dan Operasional**	**72**
6.10.1	Penjaga dan Prosedur Keamanan	72
6.10.2	Kunci Pintu	72
6.10.3	Jaringan Televisi Tertutup	72
6.10.4	Tindakan Lainnya	72

6.1 Pendahuluan

Keamanan telah menjadi komponen penting pengoperasian laboratorium. Sistem keamanan laboratorium yang baik dapat mengurangi sejumlah risiko, seperti

- pencurian atau penyalahgunaan peralatan yang sangat penting atau bernilai tinggi;
- pencurian atau penyalahgunaan bahan kimia atau bahan "penggunaan-ganda" yang mungkin digunakan untuk kegiatan ilegal;
- ancaman dari kelompok aktivis;
- pelepasan atau pemaparan bahan berbahaya secara tidak sengaja atau sengaja;
- sabotase bahan kimia atau peralatan bernilai tinggi;
- publikasi informasi sensitif; dan
- pekerjaan ilegal atau eksperimentasi laboratorium yang tidak sah.



Jenis dan tingkat sistem keamanan bergantung pada beberapa faktor, termasuk

- jenis ancaman yang diterima dan jumlah bahan dan peralatan;
- pengetahuan kelompok atau individu yang memberikan ancaman;
- riwayat pencurian, sabotase, dan kekerasan yang diarahkan ke atau di dekat laboratorium;
- persyaratan atau panduan peraturan;
- adanya sesuatu yang menarik perhatian; atau
- masalah terkait "penggunaan-ganda" atau keamanan informasi.

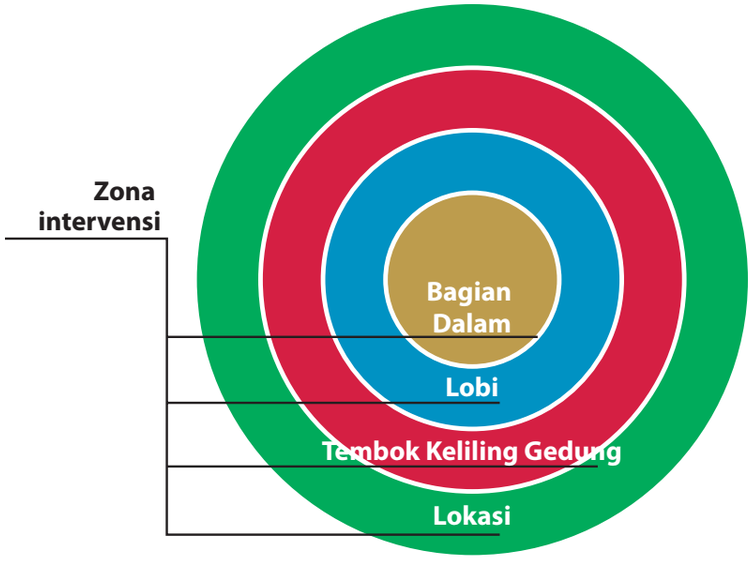


6.2 Dasar Keamanan

Program keamanan laboratorium akan menggunakan gabungan antara komponen manusia, fisik, elektronik, dan operasional dalam suatu sistem terpadu.

- **Sumber daya manusia yang terlatih:** penjaga keamanan yang cukup terlatih, mampu, dan sadar
- **Keamanan fisik atau arsitektur:** pintu, tembok, pagar, kunci, penghalang, dan akses atap
- **Keamanan elektronik:** sistem kendali akses, sistem alarm, dan sistem jaringan televisi tertutup
- **Keamanan operasional:** lembar atau catatan masuk, pengawalan penjaga keamanan, pengendalian kunci dan kartu akses, dan prosedur perizinan

Bergantung pada tingkat keamanan yang diperlukan, rancangan sistem keamanan untuk menghalangi akses yang tidak sah, sistem pemantauan untuk mendeteksi pelanggaran, dan pembuatan cadangan untuk mencegah kegagalan sistem jika terjadi kehilangan daya listrik atau perubahan lingkungan lainnya.nakan konsep *lingkaran perlindungan konsentris,* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1, saat merencanakan sistem keamanan laboratorium. Keamanan dimulai dari batas luar (perimeter) gedung dan menjadi semakin ketat di bagian dalam yang sensitif. Upaya keamanan perlu dilaksanakan di zona intervensi.



Gambar 6.1 **Lingkaran perlindungan konsentris.**

Sistem keamanan harus membantu:

- **mendeteksi potensi masalah,** termasuk pembobolan atau pencurian;
- **menunda kegiatan kejahatan** dengan membuat penghalang dalam bentuk pengendalian pegawai dan akses; dan
- **menanggapi masalah.**

Fasilitas harus mempunyai rencana keamanan yang mengidentifikasi orang-orang yang bertanggung jawab, prosedur, dan kebijakan dan memberikan pemahaman yang jelas tentang peran bagian tanggap darurat internal dan eksternal, termasuk polisi.

6.3 Menentukan Tingkat Keamanan

Lembaga harus menentukan tingkat keamanan yang diperlukan untuk laboratorium atau untuk bagian laboratorium. Penentuan tingkat keamanan memudahkan pengkajian keamanan yang diperlukan untuk laboratorium dan memastikan konsistensi penerapan prinsip-prinsip keamanan.

Berikut ini sebuah contoh sistem manajemen keamanan laboratorium, yang menentukan tiga tingkat keamanan berdasarkan pengoperasian dan bahan.

6.3.1 Normal atau Tingkat Keamanan 1

Laboratorium atau daerah yang ditandai sebagai Tingkat Keamanan 1 mempunyai risiko yang rendah untuk bahaya kimia, biologis, atau radioaktif yang luar

biasa. Kehilangan akibat pencurian, tindakan membahayakan, atau sabotase akan memberikan dampak minimal terhadap pengoperasian laboratorium.

Table 6.1 Fitur Keamanan untuk Tingkat Keamanan 1

Fisik	• Pintu atau jendela dapat dikunci
Operasional	• Mengunci pintu saat tidak digunakan • Memastikan bahwa semua pegawai laboratorium menerima pelatihan kesadaran keamanan • Mengontrol akses terhadap kunci dan menggunakan penilaian sebelum memberikan kunci kepada pengunjung

6.3.2 Menengah atau Tingkat Keamanan 2

Laboratorium atau daerah yang ditandai sebagai Tingkat Keamanan 2 mempunyai risiko menengah untuk potensi bahaya bahan kimia, biologis, atau radioaktif. Laboratorium mungkin berisi peralatan atau bahan yang menarik bagi pencuri, dapat mengancam masyarakat, atau dapat disalahgunakan. Kehilangan akibat pencurian, tindakan membahayakan, atau sabotase akan memberikan dampak cukup serius pada program penelitian dan reputasi lembaga.

Table 6.2 Fitur Keamanan untuk Tingkat Keamanan 2

Fisik	• Pintu atau jendela, dan koridor lainnya dapat dikunci • Kunci pintu dengan inti keamanan tinggi • Pemisahan dari area publik • Pintu, rangka, dan kunci diperkeras • Tembok keliling (perimeter) yang dibangun dari lantai hingga langit-langit untuk mencegah akses dari satu area ke area lainnya melalui plafon gantung (drop ceiling)
Operasional	• Mengamankan pintu, jendela, dan koridor saat tidak digunakan • Memastikan bahwa semua pegawai laboratorium menerima pelatihan kesadaran keamanan • Mempekerjakan penjaga keamanan untuk mendeteksi pelanggaran keamanan • Mengawal pengunjung dan kontraktor dan mencatat mereka dalam catatan masuk
Elektronik	• Sistem kendali akses disarankan • Alarm pembobolan disarankan jika ada kekhawatiran terhadap sabotase, pencurian, atau penyalahgunaan

6.3.3 Tinggi atau Tingkat Keamanan 3

Laboratorium atau daerah yang ditandai sebagai Tingkat Keamanan 3 mempunyai risiko serius untuk potensi bahaya biologi, kimia, atau radioaktif yang mematikan terhadap manusia dan lingkungan. Laboratorium mungkin berisi peralatan atau bahan yang dapat disalahgunakan, dapat mengancam masyarakat, atau bernilai tinggi. Kehilangan peralatan atau bahan akibat pencurian, tindakan membahayakan, atau sabotase akan memberikan dampak dan konsekuensi serius terhadap program penelitian, fasilitas dan reputasi lembaga.

Table 6.3 Fitur Keamanan untuk Tingkat Keamanan 3: Sama dengan Tingkat Keamanan 2 ditambah item tambahan berikut ini

Fisik	• Kunci keamanan tinggi • Pintu masuk ganda untuk ruang depan
Operasional	• Mengunci pintu, jendela, dan koridor *sepanjang waktu* • Mengawal dan mencatat pengunjung dan kontraktor • Melakukan inspeksi barang yang dimasukkan atau dikeluarkan dari laboratorium • Membuat sistem inventaris untuk bahan yang perlu diperhatikan • Melakukan pemeriksaan latar belakang pada individu dengan akses langsung pada bahan yang perlu diperhatikan atau zona kontrol
Elektronik	• Sistem kendali akses yang mencatat riwayat transaksi semua individu yang mendapatkan izin • Teknologi biometrik verifikasi pribadi disarankan • Sistem alarm pembobolan • Kamera jaringan televisi tertutup untuk pintu keluar, titik keluar, penyimpanan bahan, dan peralatan khusus

6.4 Mengurangi Bahaya Penggunaan-Ganda Bahan Laboratorium

Berbagai reagen laboratorium yang berbahaya memberikan ancaman keselamatan yang lebih besar dikarenakan risiko terorisme dan produksi obat-obatan terlarang. Penting untuk menyadari potensi penyalahgunaan bahan kimia laboratorium untuk penggunaan-berganda atau multi-penggunaan secara sengaja.

Keamanan laboratorium harus berfokus pada berbagai bahan penggunaan-ganda, termasuk agen biologi, seperti patogen hidup dan racun biologi, reagen sintetis, dan racun kimia. Keamanan juga harus mempertimbangkan

kemungkinan bahwa laboratorium itu sendiri dapat digunakan untuk sintesis zat-zat teror yang terlarang.



Lihat *Lampiran A.1. Contoh Daftar Bahan Kimia Yang Perlu Diperhatikan* untuk informasi tentang bahan kimia penggunaan-ganda lainnya dan bahan kimia yang perlu diperhatikan (chemicals of concern, COC).

Ambil langkah-langkah berikut untuk mengurangi risiko pencurian atau bahan kimia dengan penggunaan-ganda untuk kegiatan teroris.

1. Tinjau secara periodik dan hati-hati berbagai pengendalian akses laboratorium ke daerah penggunaan atau penyimpanan agen penggunaan-ganda.
2. Batasi jumlah pegawai laboratorium yang mempunyai akses ke agen penggunaan-ganda.
3. Berikan pelatihan untuk semua pegawai laboratorium yang mempunyai akses ke zat-zat ini, termasuk diskusi risiko penggunaan-ganda.
4. Tetap waspada dan sadari kemungkinan pemindahan bahan kimia apa pun untuk tujuan yang terlarang dan ketahui cara melaporkan kegiatan tersebut ke orang yang bertanggung jawab.
5. Lakukan pencatatan inventaris untuk bahan-bahan ini (lihat Bab 8).
6. Jika kendali akses elektronik sudah ada, buat catatan tentang siapa saja yang mendapatkan akses ke area penggunaan atau penyimpanan bahan penggunaan-ganda.

Masukkan bahan ini dalam Penilaian Kerentanan Keamanan (lihat Bagian 6.6) dan pastikan bahwa rencana keamanan tersebut cukup melindungi bahan-bahan ini.

BAHAN KIMIA YANG BISA DIGUNAKAN UNTUK PENGGUNAAN-GANDA

- **aseton**
- **amonia**
- **hidrokarbon berklorin**
- **klorin**
- **sianogen klorida**
- **etanol**
- **hidrogen peroksida**
- **osmium tetroksida**
- **fosgen**
- **natrium azida**
- **natrium sianida**
- **asam nitrat**

Bahan kimia dalam daftar ini digunakan untuk memberikan contoh berbagai bahan kimia dengan penggunaan-ganda. Daftar ini *bukan* daftar lengkap.

6.5 Menetapkan Keamanan Informasi

Keamanan informasi sangat penting untuk keamanan peralatan dan bahan. Masalah penggunaan-ganda berlaku untuk data dan bahan laboratorium. Pelanggaran keamanan siber mungkin menyebabkan informasi sensitif jatuh ke tangan teroris, kelompok musuh, atau pelaku kejahatan. Kembangkan kebijakan dan prosedur keamanan informasi, seperti yang diperinci pada bagian berikutnya.

6.5.1 Membuat Cadangan Data

Kembangkan rencana untuk membuat cadangan data secara reguler. Pertimbangkan manfaat menyimpan cadangan data di luar, baik di tempat penyimpanan tahan api atau di fasilitas pusat (msl., fasilitas teknologi informasi lembaga).

6.5.2 Melindungi Informasi Rahasia atau Sensitif

Nilailah jenis data yang dihasilkan oleh laboratorium. Data mungkin sesuai dengan kategori berikut:

- publik, dapat diberitahukan bebas kepada siapa saja;
- internal, dapat diberitahukan bebas kepada pihak lain dalam lembaga;
- departemental, hanya dapat diberitahukan ke pihak lain dalam departemen;
- laboratorium, hanya dapat diberitahukan ke pihak lain di laboratorium; atau
- rahasia, dapat diberitahukan hanya kepada mereka yang terlibat langsung dengan data atau berdasarkan keperluan tertentu yang sah.

Jika laboratorium menghasilkan data yang pribadi, sensitif, atau data hak milik, ambil langkah berikut dengan panduan dari kelompok teknologi informasi lembaga atau konsultan luar:

1. Berikan pelatihan kepada mereka yang mempunyai akses terhadap informasi ini, dengan menekankan pada pentingnya kerahasiaan. Kaji segala prosedur publikasi informasi tersebut ke luar laboratorium.
2. Buat perjanjian kerahasiaan tertulis dan ditandatangani oleh mereka yang mempunyai akses terhadap informasi tersebut.
3. Ganti sandi secara rutin. Jangan menyimpan atau menulis sandi di tempat mudah ditemukan. Jaga kerahasiaan sandi.
4. Kunci keamanan, kartu akses, atau alat keamanan fisik lainnya.
5. Sebelum membuang bahan yang berisi informasi sensitif, buat bahan tersebut menjadi tidak dapat digunakan lagi dengan menghancurkannya atau menghapus pita perekam.
6. Laporkan segera segala pelanggaran keamanan yang diketahui atau dicurigai ke kantor keamanan lembaga dan petugas keselamatan dan keamanan kimia.

6.6 Melakukan Penilaian Kerentanan Keamanan

Tujuan Penilaian Kerentanan Keamanan (Security Vulnerability Assessment, SVA) adalah menemukan potensi risiko keamanan terhadap laboratorium, tingkat ancaman, dan kecukupan sistem yang ada. SVA membantu menentukan perencanaan keamanan yang dibutuhkan oleh laboratorium.



Lihat *Lampiran E.1: Mengembangkan Penilaian Kerentanan Keamanan Menyeluruh.*

Untuk melakukan SVA, mulailah dengan berjalan dan memeriksa sekeliling laboratorium. Fokuskan penilaian dengan cara berdiskusi dengan pegawai laboratorium mengenai bahan kimia, peralatan, prosedur, dan data yang mereka hasilkan.

Berikut ini sebagian daftar masalah untuk dikaji sebagai bagian dari SVA:

- Ancaman yang ada, berdasarkan sejarah lembaga itu (msl., pencurian bahan laboratorium, sabotase, pelanggaran keamanan data, protes)
- Bahan kimia, agen biologis, bahan radioaktif, atau peralatan laboratorium lainnya atau bahan dengan potensi penggunaan-ganda (lihat Bagian 4.4)
- Data sensitif atau sistem terkomputerisasi
- Fasilitas perlindungan hewan
- Kerentanan infrastruktur (msl., saluran listrik yang dapat diakses, pencahayaan buruk)
- Sistem keamanan yang ada (msl., kendali akses, kamera, deteksi pembobolan)
- Tanda pengenal pegawai laboratorium (msl., lencana, akses dikawal)
- Budaya lembaga (msl., laboratorium terbuka, tidak menanyai pengunjung)
- Rencana keamanan yang ada
- Pelatihan dan kesadaran pegawai laboratorium

Lakukan SVA dengan komite yang terdiri dari dua atau tiga anggota dosen dan peneliti yang memiliki motivasi tinggi dan pengetahuan yang diperlukan serta kesadaran tentang keselamatan dan keamanan kimia. Jika sumber daya ada, pertimbangkan untuk mempekerjakan seorang konsultan keamanan laboratorium untuk melakukan SVA bersama dengan staf keamanan, keselamatan, dan laboratorium.

6.7 Membuat Rencana Keamanan

Hasil SVA berupa daftar tindakan atau sarana keamanan yang diperlukan selain gembok dan kunci. Tidak ada pendekatan tunggal untuk rencana keamanan laboratorium. Namun, unsur-unsur berikut dapat dipertimbangkan untuk rencana keamanan laboratorium apa saja.

1. Batasi akses batas luar (perimeter) menuju fasilitas jika ada risiko tinggi pencurian, penyalahgunaan, sabotase, atau pelepasan bahan kimia khusus yang berbahaya secara disengaja.
2. Amankan aset yang diidentifikasi dalam SVA sehingga mencegah akses oleh individu yang tidak sah.
3. Pantau keamanan aset tersebut sehingga pelanggaran keamanan akan diketahui, dan untuk bahan berisiko tinggi, pegawai laboratorium atau keamanan dapat segera menangani.
4. Saring dan kendalikan akses ke fasilitas menggunakan kendali akses elektronik dan penjaga keamanan. Periksa setiap orang dan, dalam beberapa kasus, juga kendaraan untuk memastikan bahwa tidak ada orang yang membawa bahan berbahaya ke dalam laboratorium.
5. Tunda terjadinya pelanggaran keamanan melalui penggunaan tindakan keamanan yang telah dibahas, untuk memberi lebih banyak waktu pada lembaga tanggap darurat untuk mencegah keberhasilan serangan.
6. Amankan pengiriman, penerimaan, dan penyimpanan bahan target.
7. Halangi pencurian atau penyalahgunaan bahan target melalui kendali inventaris, kendali pengunjung, lencana tanda pengenal, dan kontrol elektronik.
8. Lakukan pemeriksaan latar belakang terhadap setiap orang yang bekerja dengan bahan laboratorium, terutama bahan penggunaan-ganda atau keamanan-tinggi. Verifikasi informasi pekerjaan dan latar belakang pendidikan seseorang dan catat ketidakcocokan dalam riwayatnya.
9. Halangi sabotase siber, termasuk akses yang tidak sah di lokasi kerja atau dari jarak jauh terhadap pengendalian proses penting.
10. Kembangkan dan terapkan rencana tanggap darurat dan praktikkan rencana tersebut.
11. Identifikasi struktur kepemimpinan untuk masalah keamanan.
12. Jaga sistem pemantauan, komunikasi, dan peringatan.

13. Buat catatan rencana keamanan dan penggunaannya.
14. Berikan pelatihan untuk pegawai laboratorium tentang tindakan keamanan dan pentingnya melakukan tindakan tersebut.
15. Jika ada ancaman, naikkan tingkat keamanan.
16. Laporkan insiden signifikan yang melibatkan keamanan kimia ke penegak hukum setempat.
17. Selidiki laporan insiden yang terkait keamanan dan dokumentasikan temuan dan resolusinya.

6.8 Mengelola Keamanan

Komite pengawasan keselamatan dan keamanan kimia lembaga bertanggung jawab untuk membuat rencana keamanan menyeluruh. Orang yang bertanggung jawab untuk mengelola keamanan di laboratorium harus mempunyai pengetahuan dasar minimal, memahami risiko dan kerentanan, dan mempunyai tingkat tanggung jawab dan kewenangan yang memadai.

Keamanan harus menjadi bagian integral dari program pelatihan keselamatan di laboratorium. Latih semua pegawai untuk memahami dan melaksanakan tindakan keamanan laboratorium, selain tindakan keselamatan. Banyak tindakan yang meningkatkan keselamatan juga meningkatkan keamanan, termasuk

- meminimalkan penggunaan bahan kimia berbahaya untuk mengurangi risiko;
- meminimalkan persediaan bahan yang dimiliki;
- meminimalkan waktu penyimpanan yang diperlukan untuk bahan tersebut;
- membatasi akses bagi mereka yang membutuhkan penggunaan bahan yang berbahaya dan memahami risiko keselamatan dan keamanan; dan
- mengetahui apa yang harus dilakukan dalam keadaan darurat dan mengenali ancaman.

6.9 Kepatuhan pada Peraturan

Bagi kebanyakan laboratorium, tidak ada persyaratan peraturan untuk keamanan. Tindakan atau sarana keamanan didasarkan pada kebutuhan laboratorium. Namun, untuk sebagian bahan atau pengoperasian, ada dokumen panduan.

- **Bahan biologis dan agen penular:** Organisme biologi tertentu, termasuk virus, bakteri, jamur, prion, dan elemen genetiknya mungkin menimbulkan risiko terhadap individu atau masyarakat. Bahan biologi menimbulkan masalah unik karena bahan ini dapat bereproduksi

sehingga pencurian bahan ini, meskipun dalam jumlah kecil, sangat berbahaya. Lihat *Laboratory Biosafety Manual (Panduan Keamanan Hayati Laboratorium)* (Edisi ketiga) milik Organisasi Kesehatan Dunia di *www.who.int/csr/resources/publications/biosafety/WHO_CDS_CSR_LYO_2004_11/en* untuk mendapatkan panduan.

- **Penelitian hewan:** Penelitian hewan merupakan fokus dari banyak aktivis pejuang hak hewan. Keamanan vivarium sangat penting bagi keselamatan hewan dan peneliti. Association for Assessment and Accreditation of Laboratory Animal Care International (AAALAC) atau dalam bahasa Indonesia disebut Asosiasi untuk Penilaian dan Akreditasi Perlindungan Hewan Laboratorium Internasional memberikan panduan keamanan hewan laboratorium dan fasilitas penelitian. AAALAC mempunyai tautan menuju sumber daya dan peraturan internasional: *www.aaalac.org/resources/internationalregs.cfm*.
- **Bahan radioaktif dan peralatan penghasil radiasi:** Di kebanyakan laboratorium, jumlah, isotop, dan intensitas bahan radioaktif digunakan untuk penelitian atau pengajaran agar tidak menimbulkan risiko serius terhadap individu atau masyarakat. Namun, sebagian bahan dan peralatan menimbulkan risiko tinggi, dan bahan berisiko rendah sekali pun juga dapat menimbulkan masalah. Lihat situs web International Atomic Energy Agency (Badan Energi Atom Internasional) (*www.iaea.org*) untuk mendapatkan panduan.
- **Bahan kimia:** Keamanan kimia semakin menarik perhatian pembuat peraturan. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, sebagian bahan kimia laboratorium yang umum berpotensi digunakan dalam produksi obat-obatan atau senjata kimia yang terlarang. Lihat situs web Organization for the Prohibition of Chemical Weapons (Organisasi Pelarangan Senjata Kimia) (*www.opcw.org*) untuk mendapat informasi lebih lanjut.



Organization for the Prohibition of Chemical Weapons (Organisasi Pelarangan Senjata Kimia) memberi kuliah tentang penggunaan kromatografi gas untuk menganalisis bahan kimia yang mempunyai potensi digunakan sebagai senjata kimia (dan berbagai jenis bahan kimia lainnya) dengan jenis sampel lingkungan yang berbeda-beda.

6.10 Keamanan Fisik dan Operasional

Ada banyak sistem yang tersedia untuk keamanan laboratorium. Pilihan dan penerapan sistem bergantung pada tingkat keamanan yang dibutuhkan dan sumber daya yang tersedia.

6.10.1 Penjaga dan Prosedur Keamanan

Penjaga keamanan sering kali merupakan sarana paling umum yang tersedia untuk keamanan laboratorium. Mereka mengontrol akses ke gedung dan laboratorium dengan memeriksa lencana atau bentuk tanda pengenal lainnya dari staf dan pengunjung. Mereka juga dapat mengawasi pintu dan jendela yang terkunci, mengawal di dalam dan di luar gedung, dan mengawasi monitor jaringan televisi tertutup (CCTV).

Jika menggunakan penjaga keamanan, tentukan kebijakan yang jelas untuk pemeriksaan lencana, pembuatan catatan masuk, dan pendefinisian area akses, rute patroli, dan jadwal. Kebijakan ini mencakup prosedur pelaporan orang atau kegiatan yang mencurigakan dan pengkajian informasi CCTV. Jangan pernah bertanya atau membiarkan penjaga keamanan memeriksa status eksperimen yang tidak dijaga yang melibatkan bahan yang sangat beracun.

6.10.2 Kunci Pintu

Ada banyak jenis kunci pintu. Setiap sistem penguncian pintu memerlukan manajemen dan perawatan. Untuk kunci, pastikan bahwa ada sebuah program untuk mengumpulkan kunci sebelum seseorang meninggalkan tempat kerja.

6.10.3 Jaringan Televisi Tertutup

Selain penjaga dan kunci, jaringan televisi tertutup merupakan alat lain yang sering kali digunakan untuk mengamankan laboratorium. CCTV dapat terus dipantau oleh penjaga keamanan atau dapat dikaji setelah terjadi insiden. CCTV dapat digunakan untuk mengenali kegiatan yang tidak biasa dan mengesahkan identitas dan izin masuk pegawai. Kamera CCTV harus ditempatkan di pintu masuk atau keluar, tidak harus di daerah kerjanya.

Buat kebijakan dan prosedur penggunaan sistem dan pengkajian rekaman. Simpan data CCTV minimal selama sebulan. Buat kebijakan yang menyatakan dalam kondisi apakah informasi dapat dikaji dan oleh siapa.

6.10.4 Tindakan Lainnya

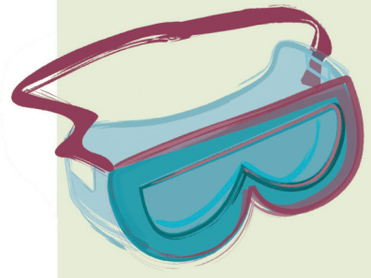
Tindakan atau sarana keamanan lainnya yang dapat digunakan meliputi:

- mempekerjakan penjaga keamanan tambahan;
- alarm kaca pecah untuk jendela dan pintu;

- alarm pembobolan;
- perangkat keras untuk mencegah perusakan jendela dan/atau kunci pintu;
- penerangan untuk tempat yang dapat digunakan untuk memasuki daerah aman;
- kunci untuk akses atap;
- tembok, pagar, dan semak pembatas;
- tembok internal yang dibangun dari lantai hingga langit-langit ruang;
- rangka pintu yang tidak dapat dirusak;
- tirai jendela;
- lencana atau bentuk tanda pengenal lainnya; dan
- catatan masuk.

7 Menilai Bahaya dan Risiko di Laboratorium







7.1 Pendahuluan **77**

7.2 Mengonsultasikan Sumber Informasi **77**

7.3 Mengevaluasi Risiko Racun Bahan Kimia Laboratorium **78**

7.3.1 Hubungan Dosis-Respons 78

7.3.2 Durasi dan Frekuensi Pemaparan 79

7.3.3 Jalur Pemaparan 79

7.4 Menilai Risiko Racun Bahan Kimia Laboratorium Tertentu **79**

7.4.1 Racun Akut 80

7.4.2 Iritan, Korosif, Alergen, dan Pemeka 81

7.4.2.1 Iritan 81

7.4.2.2 Zat Korosif 81

7.4.2.3 Alergen dan Pemeka 81

7.4.3 Asfiksian 82

7.4.4 Neurotoksin 82

7.4.5 Toksin Reproduktif dan Pengembangan 82

7.4.6 Racun yang Mempengaruhi Organ Lainnya 83

7.4.7 Karsinogen 83

7.4.8 Menggunakan Kategori Kontrol (Control Banding) untuk Menilai Risiko 84

7.5 Menilai Bahaya Bahan Mudah Terbakar, Reaktif, dan Mudah Meledak **85**

7.5.1 Bahaya Bahan Mudah Terbakar 85

7.5.1.1 Zat yang Mudah Terbakar 85

7.5.1.2 Karakteristik Kemudahbakaran 86

7.5.1.3 Penyebab Penyulutan 87

7.5.1.4 Bahaya Mudah Terbakar Khusus 88

7.5.2 Bahaya Reaktif 88

7.5.2.1 Reaktif Air 88

7.5.2.2 Piroforik 89

7.5.2.3 Bahan Kimia yang Tidak Sesuai 89

7.5.3 Bahaya Ledakan 90
7.5.3.1 Bahan Peledak 90
7.5.3.2 Senyawa Azo, Peroksida, dan Tidak Jenuh (Penghasil Peroksida) 90
7.5.3.3 Pengoksidasi Lainnya 91
7.5.3.4 Bubuk dan Debu 92
7.5.3.5 Bahan Peledak yang Sangat Panas 92
7.5.3.6 Pertimbangan Lainnya 92

7.6 Menilai Bahaya Fisik 93
7.6.1 Gas yang Dimampatkan 93
7.6.2 Kriogen yang Tidak Mudah Terbakar 94
7.6.3 Reaksi Tekanan Tinggi 94
7.6.4 Kerja Vakum 94
7.6.5 Bahaya Frekuensi Radio dan Gelombang Mikro 94
7.6.6 Bahaya listrik 95
7.6.7 Bahaya Lain 95

7.7 Menilai Bahaya Hayati 96

7.1 Pendahuluan

Elemen kunci perencanaan eksperimen melibatkan penilaian bahaya dan risiko yang terkait dengan bahan kimia dan operasi yang diajukan dalam eksperimen. Bab ini memberikan panduan praktis untuk menilai bahaya dan risiko. Meski tanggung jawab untuk melakukan penilaian ini terutama diserahkan kepada orang yang akan mengadakan eksperimen, manajemen risiko harus melibatkan konsultasi dengan supervisor laboratorium langsung dan, dalam banyak contoh, petugas keselamatan dan keamanan bahan kimia laboratorium (CSSO).

Bab ini memberi panduan untuk menilai risiko penggunaan bahan kimia berbahaya di dalam laboratorium, termasuk informasi tentang cara

- berkonsultasi pada sumber informasi tentang bahan kimia berbahaya yang akan digunakan;
- mengevaluasi risiko racun bahan kimia dengan menggunakan prinsip-prinsip dasar toksikologi;
- menilai risiko racun yang terkait dengan kelas bahan kimia berbahaya tertentu;
- memilih prosedur yang tepat untuk meminimalkan pemaparan terhadap bahan kimia beracun; dan
- menilai risiko lainnya yang terkait dengan bahan kimia berbahaya, misalnya kemudahbakaran.



Lihat *Formulir: Daftar Periksa Penilaian Bahaya Laboratorium* untuk formulir sampel yang dapat digunakan dalam menilai bahaya terkait kerja laboratorium.

7.2 Mengonsultasikan Sumber Informasi

Sebagai langkah pertama dalam penilaian risiko, pegawai laboratorium harus memeriksa rencana mereka untuk eksperimen yang diajukan dan mengidentifikasi bahan kimia dengan bahaya tidak dikenal. Banyak sumber daya dapat membantu dalam menilai bahaya dan risiko bahan kimia di dalam laboratorium. Sumber daya yang paling dikenal dan digunakan secara universal meliputi

- rencana kesehatan bahan kimia;
- Lembar Data Keselamatan Bahan (MSDS);
- Ringkasan Keselamatan Bahan Kimia Laboratorium (LCSS);
- Kartu Keselamatan Bahan Kimia Internasional (ICSC);
- label; dan
- Sistem Harmonisasi Global untuk Komunikasi Bahaya (GHS).



Lihat *Lampiran B0,1. Sumber Informasi Bahan Kimia* untuk informasi lebih lanjut tentang masing-masing sumber daya ini.

7.3 Mengevaluasi Risiko Racun Bahan Kimia Laboratorium

Toksikologi adalah studi efek balik bahan kimia terhadap sistem hidup. Seluruh pegawai laboratorium harus memahami prinsip dasar tertentu dan toksikologi dan belajar untuk mengakui kelas bahan kimia beracun dan korosif utama. Bagian selanjutnya meringkas konsep utama yang terlibat dalam penilaian risiko penggunaan bahan kimia beracun di dalam laboratorium. (Lihat juga Bab 9, Bagian 4.)

7.3.1 Hubungan Dosis-Respons

Prinsip dasar toksikologi adalah bahwa *tidak ada zat yang sepenuhnya aman* dan bahwa *semua bahan kimia menimbulkan efek racun jika jumlah unsur yang cukup tinggi berhubungan dengan sistem hidup*. Satu faktor terpenting yang menentukan apakah suatu zat berbahaya atau aman adalah hubungan antara konsentrasi bahan kimia dan efek racun yang dihasilkannya.

Prinsip dasar toksikologi adalah tidak ada satu zat pun yang sepenuhnya aman dan semua bahan kimia menghasilkan efek beracun jika zat tersebut dalam jumlah yang sangat cukup tersentuh oleh sistem hidup.

Untuk semua bahan kimia, ada kisaran konsentrasi yang menyebabkan efek bertingkat antara tidak ada efek sama sekali dan kematian. Dalam toksikologi, kisaran ini disebut *hubungan dosis-respons* untuk bahan kimia. Dosis adalah jumlah bahan kimia yang diserap (melalui penghirupan, pencernaan, atau penyerapan melalui kulit) dan responsnya adalah efek yang dihasilkan bahan kimia. Hubungan ini unik untuk masing-masing bahan kimia, meski untuk jenis bahan kimia yang serupa, hubungan dosis-respons meski untuk bahan kimia jenis tertentu sering kali serupa. Untuk sebagian besar bahan kimia umum, dosis ambang telah ditentukan di bawah bahan kimia yang tidak dianggap berbahaya oleh banyak orang.

Satu cara untuk mengevaluasi toksisitas akut bahan kimia, atau toksisitasnya setelah satu kali paparan, adalah dengan memeriksa dosis letal (LD) atau nilai konsentrasi letal (LC) bahan tersebut.

- **LD_{50}** adalah jumlah bahan kimia yang saat dicerna, disuntikkan, atau dioleskan ke kulit hewan uji dalam kondisi laboratorium yang terkendali membunuh setengah (50%) dari jumlah hewan. LD_{50} biasanya dinyatakan dalam miligram atau gram per kilogram berat badan.
- **LC_{50}** adalah konsentrasi bahan kimia di udara yang akan membunuh 50% hewan uji yang terpapar. LC_{50} diberikan dalam bagian per juta, miligram per liter, atau miligram per meter kubik. LC_{50} lebih sering digunakan untuk bahan kimia yang mudah menguap atau bahan kimia dengan tekanan

uap cukup sehingga penghirupan menjadi rute penting masuknya bahan kimia ke tubuh.

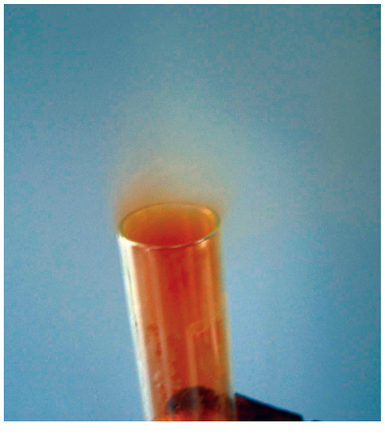
- Nilai **LC_{100}** dan **LD_{100}** juga berguna, yang didefinisikan sebagai konsentrasi atau dosis terendah yang menyebabkan kematian hewan uji.

Secara umum, semakin tinggi LD_{50} atau LC_{50}, semakin rendah toksisitas bahan kimia.

7.3.2 Durasi dan Frekuensi Pemaparan

Efek racun bahan kimia terjadi setelah pemaparan tunggal (akut), intermittent (berulang), atau berulang dalam waktu yang lama (kronis). Zat beracun akut menyebabkan kerusakan sebagai akibat pemaparan tunggal berdurasi pendek. Hidrogen sianida, hidrogen sulfida, dan nitrogen dioksida adalah contoh racun akut. Sebaliknya, zat beracun kronis menyebabkan kerusakan setelah pemaparan berulang atau berdurasi lama atau menyebabkan kerusakan yang hanya menjadi bukti setelah masa laten yang panjang. Racun kronis mencakup seluruh karsinogen, racun reproduktif, dan logam berat tertentu serta senyawanya. Banyak racun kronis yang sangat berbahaya karena masa laten yang panjang. Efek kumulatif pemaparan rendah terhadap zat semacam itu mungkin tidak tampak selama bertahun-tahun. Banyak bahan kimia yang berbahaya baik secara akut maupun kronis tergantung tingkat dan durasi pemaparan.

Nitrogen dioksida, gas kuning-cokelat, sangat beracun jika terhirup.



7.3.3 Jalur Pemaparan

Pemaparan terhadap bahan kimia di laboratorium terjadi melalui penghirupan, kontak dengan kulit atau mata, pencernaan, dan injeksi. Pertimbangkan masing-masing jalur berbeda berikut ini saat mengevaluasi bahaya racun bahan kimia.



Lihat *Lampiran F.1. Menilai Jalur Pemaparan Bahan Kimia Beracun* untuk mendapat informasi lebih lanjut tentang penilaian risiko pemaparan yang terkait dengan bahan kimia beracun.

7.4 Menilai Risiko Racun Bahan Kimia Laboratorium Tertentu

Langkah pertama dalam menilai risiko eksperimen terencana antara lain mengidentifikasi bahan kimia mana yang akan digunakan yang berpotensi zat berbahaya. Bagian ini menjelaskan bagaimana cara menilai risiko yang terkait dengan kelas bahan kimia beracun tertentu.

Bahan kimia yang digunakan di laboratorium dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelas zat beracun berbeda. Banyak bahan kimia memiliki lebih dari satu jenis

kandungan racun. Selanjutnya kelas zat beracun paling umum yang ditemukan di laboratorium.

7.4.1 Racun Akut

Toksisitas akut adalah kemampuan bahan kimia untuk menyebabkan efek berbahaya setelah pemaparan satu kali. Bahan beracun akut dapat menyebabkan efek racun lokal, efek racun sistemik, atau keduanya. Kelas racun ini meliputi bahan kimia korosif, iritan, dan alergen (pemeka). Bahan kimia yang paling umum dengan tingkat toksisitas akut tinggi yang ditemui di laboratorium antara lain

- akrolein;
- arsina;
- klorin;
- diazometana;
- diborana (gas);
- dimetil merkuri;
- hidrogen sianida;
- hidrogen fluorida;
- metil fluorosulfonat;
- nikel karbonil;
- nitrogen dioksida;
- osmium tetraoksida;
- ozon;
- fosgen;
- natrium azida; dan
- natrium sianida (dan garam sianida lainnya).

Tangani senyawa ini menggunakan prosedur tambahan yang diuraikan pada Bab 9, Bagian 4. Saat merencanakan eksperimen, temukan apakah racun akut harus ditangani secara khusus sebagai senyawa berbahaya dengan mempertimbangkan

- jumlah total zat yang akan digunakan;
- sifat fisik zat (msl., *Apakah mudah menguap? Apakah cenderung membentuk debu?*);
- jalur pemaparan potensialnya (msl., *Apakah siap diserap melalui kulit?*); dan
- keadaan penggunaannya dalam eksperimen yang diajukan (msl., *Apakah zat akan dipanaskan? Apakah unsur itu cenderung menghasilkan aerosol?*).

Mungkin akan membantu jika memutuskan cara penanganan racun akut berdasarkan konsultasi dengan manajer laboratorium atau CSSO.



Lihat *Lampiran F.2. Menilai Risiko Terkait dengan Racun Akut* untuk informasi lebih lanjut tentang cara menentukan tingkat bahaya toksisitas akut dan kemungkinan dosis letal untuk manusia.

7.4.2 Iritan, Korosif, Alergen, dan Pemeka

LD_{50}, LC_{50}, dan nilai toksisitas lainnya memberikan sedikit panduan dalam menilai risiko korosif, iritan, alergen, dan pemeka karena unsur racun menerapkan efek berbahaya mereka secara lokal. Gunakan panduan berikut untuk menilai risiko bahan kimia ini.

7.4.2.1 *Iritan*

Iritan adalah bahan kimia non-korosif yang memiliki efek peradangan (pembengkakan dan kemerahan) yang dapat dibalik pada jaringan hidup karena tindakan kimia di tempat yang mengalami kontak. Beri perhatian khusus pada LCSS, MSDS, dan sumber informasi lainnya tentang bahan kimia iritan. Berbagai bahan kimia organik dan anorganik bersifat iritan, seperti silil halida dan hidrogen selenida. Lakukan beberapa langkah untuk meminimalkan kontak kulit dan mata dengan semua bahan kimia reagen di dalam laboratorium.



Untuk menangani bahan korosif seperti asam nitrat diperlukan pakaian pelindung, termasuk sarung tangan tahan korosi. Asam nitrat juga bersifat oksidan.

7.4.2.2 *Zat Korosif*

Zat korosif adalah zat padat, cair, atau gas yang menghancurkan jaringan hidup dengan tindakan kimia di tempat yang mengalami kontak. Efek korosif tidak hanya terjadi di kulit dan mata, tetapi juga di saluran pernapasan dan, bila termakan, di dalam saluran cerna. Zat korosif umum yang ditemukan di banyak lab antara lain

- amonia;
- bromina;
- kalsium oksida;
- klorin;
- kloramina;
- asam hidroklorat;
- asam hidroflorat;
- hidrogen peroksida;
- metal hidroksida;
- asam nitrat;
- nitrogen dioksida;
- fenol;
- fosfor; dan
- fosfor pentoksida.

Saat merencanakan eksperimen yang melibatkan zat korosif, kaji praktik penanganan dasar untuk memastikan bahwa kulit, wajah, dan mata cukup terlindung. Pilih sarung tangan tahan-korosi serta pakaian dan penutup mata pelindung yang tepat, termasuk, dalam beberapa kasus, pelindung wajah.

7.4.2.3 *Alergen dan Pemeka*

Alergi bahan kimia adalah reaksi balik sistem kekebalan terhadap bahan kimia. Reaksi alergi semacam itu disebabkan oleh sensitisasi sebelumnya terhadap bahan kimia tersebut atau bahan kimia yang mirip secara struktural. Beberapa reaksi alergi muncul secara langsung, terjadi dalam beberapa menit setelah pemaparan. Syok anafilaktik

adalah reaksi alergi langsung yang parah dan menyebabkan kematian jika tidak ditangani degan cepat. Reaksi alergi tunda memerlukan waktu beberapa jam atau bahkan beberapa hari untuk berkembang. Kulit adalah tempat yang biasa mengalami reaksi tunda semacam itu, memerah, bengkak, dan gatal bahkan setelah bahan kimia dihilangkan.

Kepekaan yang ditunjukkan setiap orang terhadap bahan kimia laboratorium sangat beragam. Saat bekerja dengan alergen yang dikenal, ikuti kebijakan laboratorium tentang penanganan dan pengendaliannya.

Karena reaksi alergi dipicu oleh alergen dalam jumlah sangat kecil di tubuh individu yang peka, pegawai laboratorium harus mewaspadai tanda respons alergi terhadap bahan kimia.

7.4.3 Asfiksian

Asfiksian adalah zat yang mengganggu pengiriman pasokan oksigen yang memadai ke organ tubuh yang vital. Otak adalah organ yang paling mudah terpengaruh oleh kekurangan oksigen, dan pemaparan terhadap asfiksian menyebabkan pingsan dan kematian dengan cepat. Gas asetilen, karbon dioksida, argon, helium, etana, nitrogen, metana, dan butana adalah asfiksian yang umum. Bahan kimia tertentu lainnya memiliki kemampuan untuk mengikat hemoglobin, sehingga mengurangi kapasitas darah untuk mengangkut oksigen. Karbon monoksida, hidrogen sianida, serta sianida organik dan anorganik adalah contoh zat semacam itu.

7.4.4 Neurotoksin

Neurotoksin memiliki efek merugikan pada struktur atau fungsi sistem saraf pusat atau periferal, yang dapat bersifat permanen atau sementara. Deteksi efek neurotoksik mungkin memerlukan teknik laboratorium khusus, tetapi sering kali efeknya terlihat dalam perilaku, seperti bicara tidak jelas dan berjalan sempoyongan. Banyak neurotoksin adalah zat beracun kronis dengan efek merugikan yang tidak langsung tampak. Beberapa neurotoksin kimia antara lain merkuri (anorganik dan organik), pestisida organofosfat, karbon disulfida, xilena, trikloroetilena, dan *n*-heksana.

7.4.5 Toksin Reproduktif dan Pengembangan

Toksin reproduktif adalah zat yang menyebabkan kerusakan kromosom (mutagen) dan zat dengan efek letal atau teratogenik (perubahan bentuk) pada janin. Zat ini menimbulkan masalah dalam berbagai aspek reproduksi, termasuk kesuburan, kehamilan, produksi ASI, dan kinerja reproduksi umum lainnya serta dapat mempengaruhi baik pria maupun wanita. Toksin reproduktif pria dalam beberapa kasus menyebabkan kemandulan. Banyak racun reproduktif merupakan racun kronis yang menyebabkan kerusakan setelah pemaparan berulang atau jangka panjang, dengan efek yang menjadi jelas hanya setelah masa laten yang lama.

Toksin pengembangan beraksi selama kehamilan dan menyebabkan efek merugikan pada fetus. Saat wanita terpapar bahan kimia, umumnya janin juga terpapar karena plasenta merupakan penghalang bahan kimia yang sangat buruk. Racun pengembangan memiliki dampak terbesar selama trimester pertama kehamilan. Karena sering kali wanita tidak mengetahui kehamilannya selama periode yang sangat rentan ini, wanita yang berpotensi mengandung disarankan untuk sangat berhati-hati saat bekerja dengan bahan kimia, terutama yang cepat diserap melalui kulit (msl., formamida). Ibu hamil dan wanita yang berkeinginan untuk hamil harus meminta saran dari sumber ahli sebelum bekerja dengan zat yang diduga merupakan racun reproduktif. Sebagai tindakan pencegahan minimal, orang harus mengikuti prosedur umum yang diuraikan pada Bab 9, bagian 4, meski dalam beberapa kasus akan lebih tepat untuk menangani senyawa itu sebagai zat sangat berbahaya.

Informasi tentang racun reproduktif dapat diperoleh dari LCSS, MSDS, dan ICSC serta dengan berkonsultasi pada profesional keselamatan di departemen keselamatan lingkungan, kantor kesehatan industri, atau departemen kesehatan.

7.4.6 Racun yang Mempengaruhi Organ Lainnya

Zat beracun juga mempengaruhi organ selain sistem reproduksi dan saraf. Sebagian besar hidrokarbon berklor, benzena, hidrokarbon aromatik lainnya, beberapa logam, karbon monoksida, dan sianida, di antara zat lainnya, menghasilkan satu atau lebih efek pada organ target. Banyak LCSS menyebutkan efek racun pada organ seperti hati, ginjal, paru-paru, atau darah.

Karena wanita sering kali tidak tahu bahwa dia hamil selama trimester kehamilan pertama, yang merupakan periode yang sangat peka, wanita yang berpotensi hamil disarankan untuk benar-benar berhati-hati saat bekerja dengan bahan kimia, terutama bahan yang sangat cepat diserap melalui kulit.

7.4.7 Karsinogen

Karsinogen adalah zat yang mampu menyebabkan kanker. Karsinogen merupakan zat beracun kronis; yaitu, zat yang menyebabkan kerusakan setelah pemaparan berulang atau dalam jangka panjang, dan pengaruhnya mungkin terlihat nyata setelah masa laten yang panjang. Karsinogen merupakan racun yang sangat berbahaya karena tidak memiliki efek berbahaya yang langsung tampak.

Berbagai zat yang ditemui dalam penelitian, terutama di laboratorium yang terlibat dengan pembuatan senyawa baru, belum diuji karsinogenisitasnya. Tangani bahan kimia yang dikenal sebagai karsinogen sebagai zat yang sangat berbahaya dengan menggunakan praktik dasar di Bab 9, Bagian 3 dan 4. Konsultasi dengan CSSO mungkin diperlukan untuk memutuskan apakah bahan kimia perlu digolongkan sebagai zat yang sangat berbahaya. Daftar karsinogen dan senyawa manusia yang dikenal dapat dilihat di situs web Agen Penelitian Kanker Internasional World Health Organization, *www.iarc.fr.*

Untuk zat kimia yang tidak memiliki data karsinogenisitas, pegawai laboratorium terlatih harus mengevaluasi potensi risiko bahwa bahan kimia yang dimaksud merupakan zat karsinogenik. Penentuan ini terkadang dibuat atas dasar pengetahuan kelas senyawa dan jenis kelompok fungsi tertentu yang terkait dengan kegiatan karsinogenik.

Apakah bahan kimia yang diduga sebagai karsinogen perlu ditangani sebagai bahan berbahaya khusus atau tidak dipengaruhi oleh skala dan keadaan yang terkait dengan eksperimen yang dimaksudkan. Pegawai laboratorium harus menentukan apakah jumlah dan frekuensi penggunaan, juga keadaan lainnya, memerlukan tindakan pencegahan tambahan selain praktik bijak dasar Bab 9, Bagian 3. Misalnya, penggunaan bahan yang diduga karsinogen dalam skala besar atau secara berulang mungkin menunjukkan bahwa tindakan pencegahan khusus pada Bab 9, Bagian 4, diikuti untuk mengendalikan pemaparan. Dalam kasus lain, mengikuti prosedur dasar pada Bab 9, Bagian 3, akan memberikan perlindungan memadai dari satu kali penggunaan zat itu dalam jumlah kecil.

Saat mengevaluasi potensi karsinogenik bahan kimia, perhatikan bahwa pemaparan terhadap kombinasi senyawa tertentu (tidak harus bersamaan) menyebabkan kanker bahkan pada tingkat pemaparan di mana masing-masing senyawa itu tidak bersifat karsinogenik. Pahami bahwa respons organisme terhadap racun biasanya meningkat dengan dosis yang diberikan, tetapi hubungannya tidak selalu linear. Pada dosis rendah, sistem perlindungan alami mencegah kerusakan genetik, tetapi saat kapasitas sistem ini berlebih, organisme menjadi jauh lebih sensitif terhadap racun. Tetapi, orang memiliki perbedaan dalam tingkat perlindungannya terhadap kerusakan genetik dan sistem pertahanan lainnya. Perbedaan ini sebagian ditentukan oleh faktor genetik, dan sebagian oleh pemaparan total individu terhadap seluruh bahan kimia di dalam dan di luar laboratorium.

7.4.8 Menggunakan Kategori Kontrol (Control Banding) untuk Menilai Risiko

Kategori kontrol adalah penilaian risiko dan pendekatan manajemen kualitatif yang meminimalkan pemaparan pegawai ke bahan berbahaya. Ini membantu menentukan penanganan yang tepat terhadap bahan yang tidak memiliki batas paparan di tempat kerja (occupational exposure limits - OEL). Kategori kontrol tidak dimaksudkan untuk menggantikan batas paparan di tempat kerja (OEL), tetapi sebagai alat tambahan. Sistem ini menggunakan kisaran paparan dan kategori (“bands”) bahaya yang, jika dipetakan untuk bahan dan aplikasi tertentu, membantu pengguna menentukan kontrol keselamatan yang tepat yang harus diterapkan. Kategori kontrol menerapkan skala kontrol bertahap dengan mempertimbangkan bahaya yang ditimbulkan oleh bahan (msl., toksisitas), kuantitas yang digunakan, penggunaan atau aplikasi yang

dimaksudkan, dan mode paparan (msl., penghirupan). Kontrol meliputi persyaratan ventilasi umum, pengendalian bahan, atau rekomendasi untuk mencari saran ahli.

Kategori kontrol berguna karena pendekatan ini memberi panduan sederhana untuk menilai bahaya dan menerapkan kontrol yang dapat diterapkan di berbagai lingkungan. Cara ini juga berguna untuk memprioritaskan bahaya bahan kimia dan komunikasi bahaya.

Informasi lebih lanjut tentang kategori kontrol dapat dilihat di situs web berikut:

- U.K. Health and Safety Executive (HSE) Control of Substances Hazardous to Health Regulations (COSHH)
  www.coshh-essentials.org.uk
- International Labour Organization (ILO) Programme on Safety and Health at Work and the Environment (SafeWork)
  www.ilo.org/safework/lang--en/index.htm

7.5 Menilai Bahaya Bahan Mudah Terbakar, Reaktif, dan Mudah Meledak

Selain bahaya yang disebabkan oleh efek racun bahan kimia, penilaian risiko harus mempertimbangkan bahaya bahan kimia karena kemudahbakaran, reaktivitas, eksplosivitas (mudahnya meledak).

7.5.1 Bahaya Bahan Mudah Terbakar

7.5.1.1 *Zat yang Mudah Terbakar*

Zat yang mudah terbakar, yang mudah memantik api dan terbakar di udara, dapat berbentuk padat, cair, atau uap. Untuk menggunakan zat yang menyebabkan kebakaran dengan benar, diperlukan pengetahuan tentang kecenderungan bahan ini untuk menguap, memantik api, atau terbakar dalam berbagai kondisi di laboratorium.

Agar terjadi kebakaran, tiga kondisi harus terjadi bersamaan:

1. atmosfer yang beroksidasi, biasanya udara;
2. konsentrasi gas yang mudah terbakar atau uap yang berada dalam batas kemudahbakaran zat; dan
3. sumber penyulutan.

Cara terbaik untuk menangani bahaya ini adalah mencegah munculnya uap mudah terbakar dan sumber penyulutan pada saat bersamaan. Jika uap dari cairan yang mudah terbakar tidak dapat selalu dikendalikan, kendali ketat terhadap sumber penyulutan adalah pendekatan terbaik untuk mengurangi risiko kemudahbakaran.

Terdapat karakteristik tertentu yang membuat zat menjadi lebih mudah terbakar.

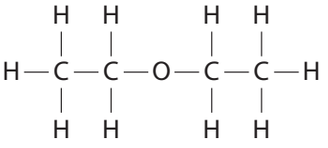
7.5.1.2 *Karakteristik Kemudahbakaran*

- **Titik nyala:** Titik nyala adalah suhu terendah di mana cairan memiliki tekanan uap cukup untuk membentuk campuran yang dapat menyala dengan udara di sekitar permukaan cairan. Ingat bahwa banyak cairan organik biasa memiliki titik nyala di bawah suhu ruang. Derajat bahaya yang terkait dengan cairan yang mudah terbakar juga tergantung pada sifat lainnya, seperti titik penyulutan dan titik didihnya. Bahan kimia yang dijual bebas biasanya dilabeli terkait dengan kemudahbakaran dan titik nyalanya.
- **Suhu penyulutan:** Suhu penyalaan zat, baik padat, cair, maupun gas, adalah suhu minimal yang diperlukan untuk memulai atau menyebabkan terjadinya pembakaran mandiri tanpa tergantung sumber panas. Semakin rendah suhu penyulutan, semakin besar potensi terjadinya kebakaran yang dipicu oleh peralatan laboratorium biasa. Tidak harus selalu ada percikan bagi terjadinya penyulutan, jika uap yang mudah terbakar mencapai suhu penyulutannya. Panas juga dapat menyebabkan penyulutan.
- **Batas kemudahbakaran:** Masing-masing gas dan cairan (sebagai uap) yang mudah terbakar memiliki dua batas kemudahbakaran yang cukup jelas dan yang menunjukkan kisaran konsentrasi bahan kimia dalam campuran udara yang akan menghasilkan api dan menyebabkan ledakan.
  - Ambang *ledakan bawah (lower explosive limit - LEL)* adalah konsentrasi minimal (uap) bahan bakar di udara (persen per volume) di mana api dihasilkan jika ada sumber penyulutan.
  - Ambang *ledakan atas (upper explosive limit - UEL)* adalah konsentrasi maksimal uap di udara (persen per volume) di mana api akan dihasilkan, tetapi api tidak dapat dihasilkan apabila tingkat konsentrasi lebih tinggi daripada konsentrasi maksimal ini.

Kisaran yang mudah terbakar atau mudah meledak ini meliputi semua konsentrasi di antara LEL dan UEL. Kisaran ini semakin luas bersamaan dengan meningkatnya suhu dan di atmosfer yang kaya oksigen. Kisaran ini juga berubah tergantung keberadaan komponen lain. Tetapi, batasan kisaran kemudahbakaran hanya memberi sedikit margin keselamatan dari segi praktik karena jika pelarut tumpah saat ada sumber energi, LEL dicapai dengan sangat cepat, kemudian terjadi kebakaran atau ledakan sebelum UEL tercapai.

Karakteristik kemudahbakaran zat mungkin tidak konstan selama digunakan di laboratorium biasa, jadi terapkan faktor keselamatan besar. Dalam situasi sebenarnya,

misalnya, konsentrasi lokal mungkin lebih tinggi dibanding rata-rata. Maka dari itu, mengatur konsentrasi maksimal yang diperbolehkan untuk kondisi kerja yang aman pada beberapa fraksi dari LEL yang ditabulasikan merupakan praktik yang baik; nilai yang diterima secara umum adalah 20%. Di antara sebagian besar cairan berbahaya, ada yang memiliki titik nyala dekat atau di bawah 38°C dan di bawah 60,5°C. Material ini mungkin berbahaya di lingkungan laboratorium biasa. Ada risiko khusus jika kisaran kemudahbakarannya luas. Beberapa zat yang biasa digunakan berpotensi sangat berbahaya, meski dalam kondisi yang relatif dingin. Karena kemudahbakarannya yang ekstrem dan kecenderungan pembentukan peroksida, dietil eter hanya tersedia untuk penggunaan laboratorium dalam wadah logam. Karbon disulfida hampir sama bahayanya.



Dietil eter sangat mudah terbakar dan bisa membentuk dietil eter peroksida yang mudah terbakar jika tidak disimpan dan diuji secara reguler.



Lihat *Lampiran F.3. Titik Nyala, Titik Didih, Suhu Penyulutan, dan Batas Kemudahbakaran Beberapa Bahan Kimia Laboratorium Umum* **untuk informasi lebih lanjut.**

7.5.1.3 *Penyebab Penyulutan*

- **Pembakaran spontan:** Pembakaran spontan atau penyulutan sendiri terjadi jika zat mencapai suhu penyulutan tanpa adanya panas dari luar. Selalu pertimbangkan kemungkinan pembakaran sendiri, terutama saat menyimpan atau membuang material. Contoh bahan yang rentan terhadap pembakaran sendiri meliputi lap berminyak, tumpukan debu, material organik yang dicampur dengan bahan pengoksidasi kuat (msl., asam nitrat, klorat, permanganat, peroksida, persulfat), logam alkali (msl., natrium, kalium), logam piroforik yang terpisahkan dengan baik, dan fosfor.
- **Sumber penyulutan:** Sumber penyulutan potensial di dalam laboratorium antara lain nyala api terbuka dan pembakar Bunsen, juga sejumlah sumber bertenaga listrik yang tidak begitu terlihat, termasuk lemari es, motor pengaduk, dan oven gelombang mikro (lihat Bab 10, Bagian 2). Bila memungkinkan, ganti api terbuka dengan pemanas listrik. Letakkan sumber penyulutan di tempat yang lebih rendah daripada zat mudah terbakar yang digunakan. Untuk saluran dan wadah logam yang mengeluarkan bahan yang mudah terbakar, ikat dengan benar dan hubungkan ke tanah untuk melepaskan listrik statis.



Hidrogen peroksida adalah oksidan dan juga korosif, dan berpotensi menimbulkan ledakan.

- **Oksidan selain oksigen:** Kebakaran yang paling dikenal melibatkan bahan mudah terbakar yang terbakar di udara. Tetapi, oksidan yang menyebabkan kebakaran atau ledakan itu tidak selalu oksigen, tergantung sifat agen pereduksinya. Contoh oksidan selain oksigen ditunjukkan pada Tabel 7.1.

Table 7.1 Contoh Oksidan Selain Oksigen

Zat	Contoh
Gas	Klorin, florin, dinitrogen oksida, oksigen, ozon, uap air
Cair	Bromida, hidrogen peroksida, asam nitrat, asam perklorat, asam sulfat
Padat	Bromat, klorat, klorit, kromat, dikromat, hipoklorit, iodat, nitrat, nitrit, perklorat, peroksida, permanganat, pikrat

7.5.1.4 *Bahaya Mudah Terbakar Khusus*

Gas yang dimampatkan atau dicairkan menyebabkan bahaya kebakaran karena panas menyebabkan tekanan meningkat dan wadah dapat pecah. Kemudahbakaran, toksisitas, dan peningkatan tekanan menjadi lebih serius jika gas terpapar ke panas. Kebocoran atau keluarnya gas yang mudahterbakar menghasilkan atmosfer eksplosif di laboratorium. Asetilen, hidrogen, amonia, hidrogen sulfida, propana, dan karbon monoksida sangat berbahaya.

Meski tidak mendapat tekanan, gas yang dicairkan lebih pekat dibanding fase uap dan menguap lebih cepat. Oksigen sangatlah berbahaya, dan udara yang dicairkan hampir sama bahayanya karena nitrogen mendidih dahulu, meninggalkan konsentrasi oksigen yang meningkat. Nitrogen cair yang bertahan selama jangka waktu tertentu mungkin telah memadatkan cukup oksigen hingga memerlukan penanganan secara hati-hati. Jika gas yang dicairkan digunakan dalam sistem tertutup, tekanan dapat meningkat dan memerlukan ventilasi cukup. Jika cairan itu mudah terbakar (msl., hidrogen, metana), konsentrasi eksplosif dapat berkembang tanpa peringatan apa pun kecuali jika ditambahkan zat bau.

7.5.2 Bahaya Reaktif

7.5.2.1 *Reaktif Air*

Material reaktif air adalah material yang bereaksi kuat dengan air. Logam alkali (msl., litium, natrium, kalium), banyak senyawa organometalik, dan beberapa hidrida bereaksi dengan air untuk menghasilkan panas dan gas hidrogen yang mudah terbakar, yang menyala atau bergabung secara eksplosif dengan oksigen di atmosfer.

Beberapa halida logam anhidrat (msl., aluminium bromida), oksida (msl., kalsium oksida), dan oksida nonlogam (msl., belerang trioksida) serta halida (msl., fosfor pentaklorida) bereaksi eksotermis dengan air. Hal ini menyebabkan reaksi kuat jika air pendingin tidak memadai untuk menghilangkan panas yang dihasilkan.

7.5.2.2 *Piroforik*

Untuk material piroforik, oksidasi senyawa oleh oksigen atau kelembapan di udara terjadi begitu cepat sehingga terjadi penyulutan. Banyak logam yang terpisahkan dengan baik bersifat piroforik, dan derajat reaktivitasnya tergantung pada ukuran partikel, adanya kelembapan, dan termodinamika pembentukan oksida logam atau nitrida logam. Bahan pereduksi lainnya, seperti logam hidrida, campuran logam reaktif, garam logam valensi-rendah, dan besi sulfida juga merupakan piroforik.

7.5.2.3 *Bahan Kimia yang Tidak Sesuai*

Kontak tidak disengaja antara zat kimia yang tidak sesuai (incompatible) dapat menyebabkan ledakan serius atau pembentukan zat yang sangat beracun atau mudah terbakar atau keduanya. Pegawai laboratorium perlu mengikuti panduan kesesuaian penyimpanan, terutama di zona yang aktif secara seismik. Bencana alam lainnya dan ledakan kimia juga dapat menyebabkan gelombang kejut yang memporak-porandakan rak bahan kimia dan menyebabkan tercampurnya bahan kimia.

Beberapa senyawa memiliki bahaya reaktif atau racun, tergantung kondisinya. Misalnya, asam sianida (HCN), jika digunakan sebagai cairan atau gas murni dalam aplikasi industri, tidak sesuai dengan basa karena akan distabilkan terhadap polimerisasi kuat karena penambahan penghambat asam. HCN juga dapat terbentuk saat asam sianida dicampur dengan asam. Dalam hal ini, toksisitas gas HCN, daripada ketidakstabilan cairan ini, merupakan karakteristik yang penting.

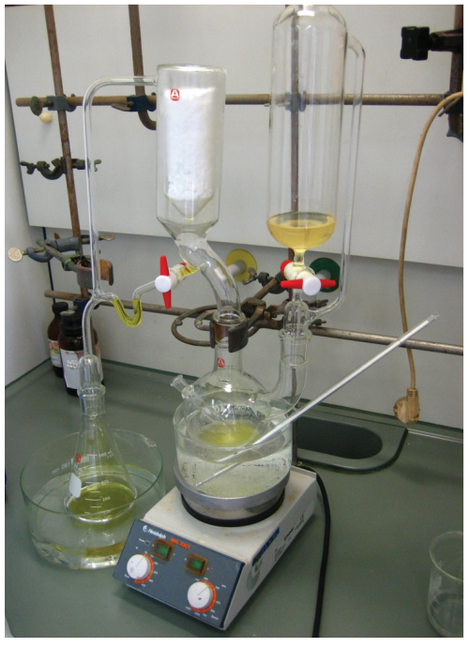
Beberapa panduan umum mengurangi risiko yang terlibat dengan zat ini. Bahan pengoksidasi pekat tidak sesuai dengan bahan pereduksi pekat. Salah satunya dapat menyebabkan bahaya reaktif meski dengan bahan kimia yang tidak beroksidasi atau bereduksi dengan kuat. Misalnya, natrium dan kalium adalah bahan pereduksi kuat yang sering digunakan untuk mengeringkan pelarut organik. Tetapi, bahan ini sangat reaktif terhadap pelarut halokarbon, yang bukan merupakan bahan pengoksidasi. Bahan pengoksidasi kuat sering digunakan untuk membersihkan peralatan pecah belah, tetapi hanya boleh digunakan pada jejak terakhir material pencemar.

7.5.3 Bahaya Ledakan

7.5.3.1 *Bahan Peledak*

Bahan peledak adalah senyawa kimia atau campuran mekanis apa pun yang, jika terkena getaran, benturan, gesekan, detonasi, atau inisiasi lainnya yang sesuai,

mengalami perubahan kimia cepat dan menciptakan gas yang sangat panas dalam volume besar yang menggunakan tekanan di media sekeliling. Ketentuan ini berlaku pada material baik yang meledak atau terbakar dengan cepat. Panas, cahaya, kejutan mekanis, dan katalis tertentu memulai reaksi ledakan. Hidrogen dan klorin bereaksi ledakan jika terkena cahaya. Asam, basa, dan zat lainnya mengkatalisasi polimerisasi ledakan akrolein, dan banyak ion logam dapat mengkatalisasi dekomposisi kuat dari hidrogen peroksida. Material yang peka kejutan antara lain asetilida, azida, nitrogen triiodida, nitrat organik, senyawa nitrat, garam perklorat (terutama yang berasal dari logam berat seperti ruthenium dan osmium), banyak peroksida organik, dan senyawa yang mengandung diazo, nitroso, dan kelompok fungsional ozonida. Beberapa senyawa dibentuk oleh aksi spatula logam pada zat padat. Beberapa di antaranya sangat peka sehingga menyala karena aksi pembentukan kristalnya sendiri. Diazometana (CH_2N_2) dan azida organik, misalnya, dapat terurai dengan menimbulkan ledakan jika terpapar ke "ground glass joint".



Peranti untuk penyiapan diazometan menggunakan sambungan permukaan lembut (bukan kaca asahan) untuk meminimalkan risiko ledakan.

7.5.3.2 *Senyawa Azo, Peroksida, dan Tidak Jenuh (Penghasil Peroksida)*

Senyawa azo organik dan peroksida adalah beberapa zat paling berbahaya yang ditangani di laboratorium. Tetapi, zat ini juga merupakan reagen umum yang digunakan sebagai sumber radikal bebas dan oksidan. Keduanya biasanya merupakan bahan peledak berdaya rendah yang peka terhadap guncangan, percikan, atau penyulutan yang tidak disengaja lainnya. Batasi pasokan bahan kimia ini dan lakukan inspeksi rutin untuk bahan kimia ini. Banyak yang memerlukan penyimpanan dingin. Jangan mendinginkan cairan atau larutan senyawa ini hingga titik di mana bahan membeku atau mengkristal dari larutan; hal ini meningkatkan risiko ledakan secara signifikan. Lemari es dan lemari pembeku yang menyimpan senyawa itu harus memiliki pasokan daya cadangan jika terjadi pemadaman listrik.

Bahan kimia laboratorium tertentu membentuk peroksida karena terpapar oksigen di udara. Dari waktu ke waktu, beberapa bahan kimia terus membangun peroksida hingga tingkat yang berpotensi bahaya. Bahan kimia lainnya mengakumulasikan konsentrasi peroksida dengan keseimbangan yang relatif rendah,

yang menjadi berbahaya hanya jika dipekatkan melalui proses evaporasi atau distilasi. Peroksida menjadi pekat karena kurang mudah menguap dibanding bahan kimia induknya. Kelas senyawa yang terkait meliputi monomer bebas penghambat yang rentan terhadap polimerisasi radikal bebas yang jika terpapar udara dapat membentuk peroksida atau sumber radikal bebas lainnya yang dapat memulai polimerisasi kuat. Berhati-hatilah saat menyimpan dan menggunakan monomer ini. Sebagian besar penghambat yang digunakan untuk menstabilkan senyawa ini memerlukan adanya oksigen agar dapat berfungsi dengan baik (seperti dijelaskan di bawah ini). Selalu lihat petunjuk MSDS dan pemasok untuk mengetahui penggunaan dan penyimpanan monomer yang dapat dipolimerisasi dengan benar.

Pada dasarnya semua senyawa yang mengandung ikatan C-H memiliki risiko pembentukan peroksida jika terkontaminasi dengan berbagai inisiator radikal, pemekacahaya, atau katalis. Misalnya, alkohol sekunder, seperti isopropanol, membentuk peroksida saat terpapar cahaya pendarfluor normal dan terkontaminasi pemekacahaya. Asetaldehida, dalam kondisi normal, beroksidasi sendiri untuk membentuk asam asetat. Meski proses swa-oksidasi ini melalui perantara asam peroksi, konsentrasi tetap perantara tersebut sangat rendah dan tidak memancarkan bahaya. Tetapi, jika terdapat katalis (Co^{2+}) dan dalam kondisi sinar ultraviolet (UV), suhu, dan konsentrasi oksigen yang tepat, dapat terbentuk peroksida peledak berkonsentrasi tinggi.

Sebagai tindakan pencegahan laboratorium, buang sampel senyawa organik lama yang tidak diketahui asal atau riwayatnya. Buang juga senyawa yang rentan peroksidasi jika terkontaminasi, misalnya alkohol sekunder.



Lihat *Lampiran F.4. Sebagian Daftar Bahan Kimia yang Tidak Sesuai (Bahaya Reaktif)* **untuk mendapatkan panduan guna menghindari kecelakaan yang melibatkan zat yang tidak bercampur.**

7.5.3.3 *Pengoksidasi Lainnya*

Bahan pengoksidasi dapat bereaksi kuat jika mengalami kontak dengan bahan pereduksi dan terkadang dengan bahan yang memiliki sifat mudah terbakar. Bahan pengoksidasi semacam itu meliputi halogen, oksihalogen dan peroksihalogen organik, kromat, dan persulfat, juga peroksida. Peroksida anorganik biasanya stabil. Tetapi, zat tersebut dapat menghasilkan peroksida organik dan hidroperoksida yang mengalami kontak dengan senyawa organik, bereaksi kuat dengan air (peroksida logam alkali), dan membentuk superoksida dan ozonida (peroksida logam alkali). Asam perklorat adalah bahan pengoksidasi yang kuat bersama senyawa organik dan bahan

perekduksi lainnya. Garam perklorat bersifat eksplosif dan harus ditangani sebagai senyawa yang berpotensi bahaya.

Selama beberapa tahun, campuran asam sulfat-dikromat digunakan untuk membersihkan pecah belah. Larutan asam sulfat-peroksidisulfat sekarang disarankan karena pembuangan kromat sangat sulit. Kesulitan membersihkan tempat mandi telah mengakibatkan ledakan saat orang-orang mencampurkan kalium permanganat dengan asam sulfat dan saat mereka mencampur asam nitrat dengan alkohol.

7.5.3.4 *Bubuk dan Debu*

Suspensi partikel yang mengandung oksigen atau dapat mengoksidasi (msl., tepung, debu batu bara, bubuk magnesium, debu seng, bubuk karbon, bubuk sulfur di udara merupakan campuran peledak yang dahsyat. Gunakan material ini dengan ventilasi memadai dan jangan sampai terpapar sumber penyulutan. Beberapa bahan padat, jika terpisahkan dengan baik, dapat menyala secara spontan jika dibiarkan kering saat terpapar ke udara. Bahan ini meliputi zirkonium, titanium, nikel Raney, timbal yang terpisahkan dengan baik (msl., seperti yang disiapkan oleh pirolisis timbal tartrat), dan katalis seperti karbon aktif yang mengandung logam aktif dan hidrogen.

7.5.3.5 *Bahan Peledak yang Sangat Panas*

Tidak semua ledakan disebabkan oleh reaksi kimia. Beberapa ledakan memiliki penyebab fisika. Ledakan berbahaya dapat terjadi jika cairan panas atau kumpulan partikel yang sangat panas mengalami kontak tiba-tiba dengan bahan yang memiliki titik didih lebih rendah. Letupan didih tiba-tiba terjadi saat zat pembening (msl., arang, serpihan didih) ditambahkan ke cairan yang dipanaskan di atas titik didihnya. Meski material itu tidak meledak secara langsung, pembentukan tiba-tiba massa bahan peledak atau uap yang dapat meledak dapat sangat berbahaya.

7.5.3.6 *Pertimbangan Lainnya*

- **Menjalankan reaksi baru** dapat menyebabkan bahaya. Pertimbangkan bahaya ini dengan hati-hati jika spesies kimia yang terlibat
  - mengandung kelompok fungsional yang terkait dengan ledakan;
  - tidak stabil di dekat reaksi atau suhu kerja;
  - dipengaruhi periode induksi selama reaksi; atau
  - menghasilkan gas sebagai produk sampingan.

  Gunakan teknik analitik modern untuk menentukan eksotermisitas reaksi pada kondisi sesuai. Gunakan jumlah minimal material berbahaya ini dengan peralatan perlindungan dan peralatan pelindung diri yang memadai. Bahkan sampel kecil dapat berbahaya, karena bahaya tidak terkait dengan total energi yang dilepaskan, tetapi dengan tingkat reaksi

detonasi yang sangat tinggi. Bahkan, ledakan besar dari beberapa miligram bahan dapat mengakibatkan pecahan kecil kaca atau benda lain masuk ke dalam tubuh. Senyawa cenderung eksplosif jika panas pembentukannya lebih dari 100 kal/g lebih kecil dari jumlah panas pembentukan produknya. Dalam membuat kalkulasi ini, gunakan reaksi yang wajar untuk menghasilkan produk yang paling eksotermik.

- **Mempercepat reaksi** memperkenalkan beberapa bahaya. Masalah ini meliputi peningkatan panas dan bahaya serius ledakan dari material yang tidak dapat sesuai. Tingkat masukan dan produksi panas harus dipertimbangkan dengan pengeluaran panas. Larutan yang bergejolak atau reaksi pelepasan panas tak terkontrol yang terkadang menyebabkan ledakan (runaway reaction) dapat terjadi jika panas bertambah terlalu cepat.
- **Reaksi eksotermik** dapat kehilangan kendali jika panas yang meningkat tidak dihilangkan. Jika mempercepat eksperimen, sediakan pendinginan dan permukaan yang memadai untuk pertukaran kalor, dan pertimbangkan laju pencampuran dan pengadukan. Panduan terperinci untuk keadaan yang memerlukan evaluasi bahaya sistematis dan analisis termal diberikan pada Bab 9, Bagian 7.
- **Reaksi yang rentan terhadap periode induksi** juga dapat menyebabkan masalah. Beri perhatian khusus pada tingkat penambahan reagen dibanding tingkat konsumsinya. Terakhir, bahaya reaksi eksotermik atau tidak stabil atau bahan kimia reaktif diperburuk pada kondisi ekstrem, seperti suhu tinggi atau tekanan tinggi yang digunakan untuk hidrogenasi, oksigenasi, atau kerja dengan cairan superkritis.

7.6 Menilai Bahaya Fisik

7.6.1 Gas yang Dimampatkan

Gas yang dimampatkan dapat memapar pekerja baik ke bahaya mekanik maupun kimia, tergantung gasnya. Bahaya dapat disebabkan oleh kemudahbakaran, reaktivitas, atau toksisitas gas; dari kemungkinan asfiksiasi; dan dari pemampatan gas itu sendiri, yang dapat menyebabkan pecahnya tangki atau katup.



Lihat *Lampiran F.5. Bahaya Bahan Kimia Khusus dari Gas Tertentu.*

7.6.2 Kriogen yang Tidak Mudah Terbakar

Kriogen yang tidak mudah terbakar (terutama nitrogen cair) dapat menyebabkan kerusakan jaringan akibat dingin yang disebabkan kontak baik dengan gas cair maupun mendidih. Di area dengan ventilasi buruk, penghirupan gas karena uap yang timbul (boil off) atau tumpahan dapat menyebabkan asfiksiasi. Bahaya lainnya meliputi ledakan dari kondensasi oksigen cair dalam jebakan vakum, pembentukan sumbat es, atau kurangnya katup ventilasi yang berfungsi dalam Dewars penyimpanan. Karena satu volume nitrogen cair pada tekanan atmosfer menguap hingga 694 volume gas nitrogen pada suhu 20°C, pemanasan cairan kriogenik semacam itu dalam wadah bersegel menghasilkan tekanan luar biasa, yang dapat memecahkan wadah.

7.6.3 Reaksi Tekanan Tinggi

Eksperimen yang dilakukan pada tekanan di atas satu atmosfer dapat menyebabkan ledakan karena kegagalan peralatan. Reaksi hidrogenasi sering dilakukan pada tekanan lebih tinggi. Potensi bahayanya adalah pembentukan campuran O_2-H_2 eksplosif dan reaktivitas atau piroforisitas katalis. Penggunaan cairan superkritis juga dapat menyebabkan tekanan tinggi.

7.6.4 Kerja Vakum

Saluran vakum dan pecah-belah lainnya yang digunakan pada tekanan subambien dapat menyebabkan bahaya cedera besar jika kaca pecah. Namun, cedera akibat pecahan kaca yang beterbangan tidak hanya satu-satunya bahaya dalam kerja vakum. Bahaya lain mungkin disebabkan kemungkinan toksisitas bahan kimia yang ada di sistem vakum, serta kebakaran setelah pecahnya tabung (misalnya, tabung-tabung cairan pelarut yang disimpan di atas sodium atau potasium).

Karena saluran vakum biasanya memerlukan perangkap dingin (umumnya nitrogen cair) antara pompa dan saluran vakum, patuhi juga tindakan pencegahan mengenai penggunaan kriogen. Bahaya kesehatan yang terkait dengan pengukur vakum termasuk toksisitas merkuri yang digunakan di manometer dan pengukur McLeod; situasi kelebihan dan kekurangan tekanan yang timbul pada pengukur konduktivitas termal; sengatan listrik pada sistem ionisasi katoda pijar; dan radioaktivitas torium dioksida yang digunakan di beberapa katoda.

7.6.5 Bahaya Frekuensi Radio dan Gelombang Mikro

Frekuensi radio (RF) dan gelombang mikro yang digunakan di oven dan tanur RF, pemanas induksi, dan oven gelombang mikro terjadi dalam kisaran 10 kHz hingga 300.000 MHz. Paparan berlebih yang ekstrem pada gelombang mikro bisa menyebabkan gangguan katarak, kemandulan, atau keduanya. Laboratorium harus

menggunakan oven gelombang mikro yang dirancang untuk digunakan di laboratorium atau industri. Penggunaan logam di oven gelombang mikro bisa menyebabkan terbentuknya busur listrik dan terjadinya kebakaran atau ledakan, jika ada pelarut yang mudah terbakar. Super-pemanasan pada cairan bisa terjadi. Tutup vial dan wadah lain yang digunakan di oven bisa menyebabkan ledakan akibat menumpuknya tekanan di dalam botol vial. Wadah plastik yang salah pilih bisa meleleh.

7.6.6 Bahaya listrik

Laboratorium bisa meniadakan bahaya kematian karena tersengat listrik dari instrumen, perangkat, dan peralatan listrik lain jika melakukan tindakan pencegahan yang tepat. Namun, kemungkinan terjadinya cedera parah atau kematian akibat tersengat listrik sangat besar jika pekerjaan rekayasa, perawatan, dan praktik kerja pribadi tidak dilakukan dengan hati-hati. Semua pegawai laboratorium harus tahu cara mematikan daya ke peralatan yang terbakar dengan menggunakan sakelar pemutus aliran listrik dan/atau sakelar pemutus rangkaian.

Ada beberapa hal khusus yang perlu diperhatikan di laboratorium. Isolasi kabel bisa terkikis oleh bahan kimia korosif, uap cairan pelarut organis, atau ozon (dari cahaya ultraviolet, mesin fotokopi, dan lain-lain). Segera perbaiki isolasi yang terkikis pada peralatan listrik di lokasi yang basah seperti ruang yang sejuk atau bak pendingin. Selain itu, percikan api dari peralatan listrik bisa menyulut api jika ada uap yang mudah terbakar. Pengoperasian peralatan tertentu (misalnya, peralatan laser atau elektroforesis) mungkin memerlukan voltase tinggi dan menyebabkan tersimpannya energi listrik. Kapasitor besar yang digunakan di banyak lampu flash dan sistem lain bisa menyimpan energi listrik yang bisa menyebabkan kematian dan harus dianggap masih hidup meskipun sumber dayanya sudah dilepaskan.

Hilangnya daya listrik bisa mengakibatkan situasi yang sangat berbahaya. Uap yang mudah terbakar atau beracun bisa keluar dari freezer dan refrigerator karena bahan kimia yang tersimpan di dalamnya menghangat. Beberapa bahan reaktif bisa terurai dengan cepat jika keadaannya panas. Tutup bahan kimia laboratorium mungkin berhenti berfungsi. Pengadukan (motor atau magnetis) yang diperlukan untuk pencampuran pereaksi yang aman mungkin terhenti. Daya yang menyala kembali di area yang berisi uap mudah terbakar bisa menyalakannya.

7.6.7 Bahaya Lain

Beberapa di antara cedera paling umum di laboratorium adalah bahaya akibat kaca yang pecah dan akibat tergelincir, tersandung, atau pengangkatan yang salah. Bahaya umum di tempat kerja juga terjadi di laboratorium. Misalnya, pegawai laboratorium bisa menderita cedera gerakan berulang atau cedera otot punggung. Masalah ini perlu disadari dan dikontrol sehingga mengurangi cedera kerja.

7.7 Menilai Bahaya Hayati

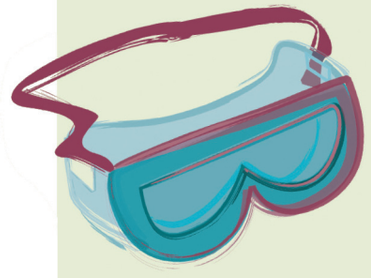
Bahaya hayati merupakan masalah di laboratorium yang menangani mikroorganisme atau bahan yang terkontaminasi mikroorganisme. Bahaya-bahaya ini biasanya muncul di laboratorium penelitian klinis dan penyakit menular, tetapi mungkin juga muncul di laboratorium lain.

Penilaian risiko bahan bahaya hayati perlu mempertimbangkan sejumlah faktor, antara lain organisme yang dimanipulasi, perubahan yang dilakukan terhadap organisme tersebut, dan kegiatan yang akan dilakukan dengan organisme tersebut. Penilaian risiko untuk racun biologis sama dengan penilaian risiko untuk bahan kimia. Penilaian didasarkan utamanya pada potensi racun, jumlah yang digunakan, dan prosedur penggunaan racun. Untuk informasi lebih lanjut, lihatlah U.S. Centers for Disease Control and Prevention *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories* (Edisi ke-4) di *www.cdc.gov/od/ohs/biosfty/bmbl4/bmbl4toc.htm*.

8

Mengelola Bahan Kimia







8.1 Pendahuluan **98**

8.2 Bahan Kimia Ramah Lingkungan untuk Setiap Laboratorium **98**

8.2.2 Mencegah Limbah 98

8.2.3 Menggunakan Pekerjaan Berskala Mikro 100

8.2.4 Menggunakan Pelarut dan Bahan Lainnya yang Lebih Aman 101

8.3 Membeli Bahan Kimia **101**

8.3.1 Memesan Bahan Kimia 102

8.3.2 Menerima Bahan Kimia 103

8.4 Inventaris dan Pelacakan Bahan Kimia **104**

8.5 Penyimpanan Bahan Kimia **104**

8.5.1 Wadah dan Peralatan 106

8.5.2 Penyimpanan Dingin 107

8.5.3 Penyimpanan Cairan yang Mudah Terbakar dan Gampang Menyala 108

8.5.4 Penyimpanan Silinder Gas 108

8.5.5 Penyimpanan Zat yang Sangat Reaktif 109

8.5.6 Penyimpanan Bahan yang Sangat Beracun 111

8.6 Pemindahan, Pengangkutan, dan Pengiriman Bahan Kimia **111**

8.1 Pendahuluan

Saat mengelola bahan kimia laboratorium, tidak semua risiko bisa ditiadakan. Namun, keselamatan dan keamanan laboratorium ditingkatkan melalui penilaian risiko berdasarkan informasi dan pengelolaan risiko yang cermat. Pengelolaan masa pakai bahan kimia yang cermat tidak hanya meminimalkan risiko terhadap manusia dan lingkungan, tetapi juga mengurangi biaya.

8.2 Bahan Kimia Ramah Lingkungan untuk Setiap Laboratorium

Bahan kimia ramah lingkungan merupakan falsafah perancangan produk dan proses yang mengurangi atau meniadakan penggunaan dan terciptanya bahan berbahaya. Dua belas prinsip bahan kimia ramah lingkungan dalam daftar berikut bisa diterapkan ke semua laboratorium dan digunakan sebagai panduan untuk merancang dan melaksanakan eksperimen yang bijak.

Beberapa dari strategi ini dibahas secara terperinci dalam bagian berikut.

8.2.2 Mencegah Limbah

Pengurangan bahan yang digunakan di setiap langkah eksperimen penting untuk pencegahan limbah, serta untuk keselamatan dan keamanan laboratorium. Untuk mencegah limbah, ikuti strategi berikut:

1. Pikirkan cara penggunaan produk reaksi dan buat sejumlah keperluan saja.
2. Pikirkan biaya pembuatan dan penyimpanan bahan yang tidak dibutuhkan.



Reagen yang disimpan.

DUA BELAS PRINSIP BAHAN KIMIA RAMAH LINGKUNGAN

1. **Cegah limbah.** Rancang sintesis kimia yang tidak menyisakan limbah apa pun yang harus diolah atau dibersihkan.
2. **Rancang bahan kimia dan produk yang lebih aman.** Rancang produk kimia yang sangat efektif, namun hanya mengandung sedikit racun atau tidak sama sekali.
3. **Rancang sintesis bahan kimia yang tidak terlalu berbahaya.** Rancang sintesis untuk menggunakan dan menghasilkan zat dengan toksisitas rendah atau tidak beracun sama sekali bagi manusia dan lingkungan.
4. **Gunakan bahan mentah yang dapat diperbarui.** Hindari menghabiskan bahan mentah dan bahan mentah untuk industri. Bahan mentah untuk industri yang dapat diperbarui dibuat dari produk pertanian atau limbah dari proses lainnya. Bahan mentah untuk industri yang tidak dapat diperbarui ditambang atau terbuat dari bahan bakar fosil (yaitu, minyak tanah, gas alam, batu bara).
5. **Gunakan katalis, bukan reagen stoikiometrik.** Katalis digunakan dalam jumlah kecil dan dapat melakukan reaksi tunggal beberapa kali. Katalis tersebut sebaiknya reagen stoikiometrik, yang digunakan dalam jumlah berlebihan dan hanya bekerja sekali.
6. **Hindari derivatif kimia.** Derivatif menggunakan reagen tambahan dan menghasilkan limbah. Hindari menggunakan kelompok penghambat atau pelindung atau modifikasi apa pun.
7. **Maksimalkan ekonomi atom.** Rancang sintesis sehingga produk akhir mengandung proporsi maksimal bahan awal. Hanya boleh ada sedikit, jika ada, atom yang terbuang.
8. **Gunakan pelarut dan kondisi reaksi yang lebih aman.** Hindari menggunakan pelarut, bahan pemisah, atau bahan kimia tambahan lainnya. Jika bahan ini diperlukan, gunakan bahan kimia yang tidak berbahaya.
9. **Tingkatkan efisiensi energi.** Jalankan reaksi kimia pada suhu ruang dan tekanan bila memungkinkan.
10. **Rancang bahan kimia dan produk agar terurai setelah digunakan.** Produk kimia yang terurai menjadi zat yang tidak berbahaya setelah digunakan tidak berakumulasi di lingkungan.

11. **Analisis langsung (dalam waktu nyata) untuk menghindari polusi.** Sertakan pemantauan dan kendali langsung (waktu nyata) dalam proses selama sintesis untuk membatasi atau menghilangkan pembentukan produk sampingan.
12. **Batasi potensi terjadinya kecelakaan.** Rancang bahan kimia dan bentuknya (padat, cair, atau gas) untuk meminimalkan potensi terjadinya kecelakaan akibat bahan kimia, termasuk ledakan, kebakaran, dan pelepasan ke lingkungan.

—Berdasarkan terbitan asli oleh Paul Anastas dan John Warner dalam
Green Chemistry: Theory and Practice (Bahan Kimia Ramah Lingkungan: Teori dan Praktik)
(Oxford University Press: New York, 1998).

3. Cari cara untuk mengurangi jumlah langkah dalam eksperimen.
4. Tingkatkan hasil.
5. Daur ulang dan gunakan ulang bahan jika mungkin.
6. Koordinasikan pekerjaan dengan rekan kerja yang mungkin menggunakan beberapa bahan kimia yang sama.
7. Gunakan metode analitik paling sensitif yang ada saat melakukan analisis.
8. Pertimbangkan jumlah reagen, pelarut, dan bahan berbahaya yang digunakan dengan peralatan laboratorium otomatis saat membeli sistem baru.
9. Pisahkan limbah tidak berbahaya dari limbah berbahaya.
10. Pertimbangkan penggunaan sistem pemurnian kolom untuk mendaur ulang pelarut yang digunakan (lihat Bab 11, Bagian 3.3).



Peralatan skala mikro, berguna dalam pengajaran bahan kimia, mengurangi risiko dan biaya.

8.2.3 Menggunakan Pekerjaan Berskala Mikro

Metode pengurangan bahaya yang berhasil adalah melakukan reaksi kimia dan prosedur laboratorium lainnya dalam skala yang lebih kecil, atau *berskala mikro.* Dalam bahan kimia berskala mikro, jumlah bahan yang digunakan dikurangi menjadi 25 hingga 100 mg untuk zat padat dan 100 hingga 200 µL untuk cairan, dibandingkan jumlah biasa, yaitu 10 hingga 50 g untuk zat padat atau 100 hingga 500 mL untuk cairan.

Penggunaan tingkat skala mikro menghemat berton-ton limbah dan jutaan dolar. Di samping itu, pekerjaan berskala mikro mengurangi bahaya kebakaran dan kemungkinan terjadinya kecelakaan serta tingkat keparahan kecelakaan yang memaparkan pegawai pada bahan kimia berbahaya.

8.2.4 Menggunakan Pelarut dan Bahan Lainnya yang Lebih Aman

Laboratorium lebih aman dan terjamin jika mereka mengganti dengan bahan kimia yang tidak berbahaya, atau kurang berbahaya bila memungkinkan. Pertimbangkan jalur sintetik dan prosedur alternatif untuk melakukan campuran reaksi. Ajukan pertanyaan berikut saat memilih bahan reagen atau pelarut untuk prosedur eksperimen:

- Bisakah kita mengganti bahan ini dengan bahan lain yang memiliki potensi bahaya lebih kecil bagi pelaku eksperimen dan lainnya?
- Bisakah kita mengganti bahan ini dengan bahan yang mengurangi atau meniadakan limbah berbahaya serta biaya pembuangannya?

Saat memilih pelarut organik, pertimbangkan beberapa faktor penting:

1. Hindari pelarut yang terdaftar sebagai toksin produktif, polutan udara berbahaya, atau karsinogen tertentu (untuk definisi karsinogen tertentu, lihat Bab 7, Bagian 4.7 tentang karsinogen).
2. Pilih pelarut dengan nilai ambang batas yang relatif tinggi (TLV).

Pelarut pengganti yang paling baik memenuhi kondisi berikut. Pelarut juga memiliki sifat fisio-kimia (misalnya, titik didih, titik nyala, konstanta dielektrik) yang mirip dengan pelarut asli. Pertimbangkan manfaatnya bagi keselamatan, kesehatan, dan lingkungan serta biayanya.

8.3 Membeli Bahan Kimia

Bagian dari pembelian bahan kimia adalah analisis masa pakai dan biayanya. Biaya pembelian hanyalah bagian awalnya. Biaya penanganan, dari segi manusia dan keuangan, serta biaya pembuangan juga harus diperhitungkan. Tanpa analisis ini, pesanan bisa jadi rangkap dan bahan kimia tak terpakai bisa jadi bagian signifikan dari limbah berbahaya di laboratorium.

Ada beberapa alasan untuk memesan bahan kimia sesuai kebutuhan dan dalam wadah kecil.

- Ukuran kemasan kecil utamanya mengurangi risiko kerusakan.
- Wadah yang lebih kecil mengurangi risiko terjadinya kecelakaan dan pemaparan terhadap bahan berbahaya.
- Inventaris ukuran tunggal mengurangi kebutuhan ruang penyimpanan.
- Wadah kecil lebih cepat habis, sehingga mengurangi peluang terurainya senyawa reaktif.
- Wadah besar sering kali harus dibagi. Ini memerlukan peralatan lain, seperti wadah pemindah yang lebih kecil, corong, pompa, dan label, serta peralatan kerja tambahan dan peralatan pelindung diri (PPE), untuk mengantisipasi bahaya yang ditimbulkan.

- Biaya pembuangan wadah kecil dari bahan berbahaya yang tidak digunakan lebih kecil.

Lembaga juga harus meminimalkan jumlah bahan kimia yang diterima sebagai hadiah atau bagian dari kontrak penelitian untuk membatasi biaya pemeliharaan atau pembuangan bahan kimia yang tidak dibutuhkan.

8.3.1 Memesan Bahan Kimia

Lembaga mungkin memusatkan kewenangan untuk meletakkan pesanan bahan kimia di kantor pembelian atau membagi kewenangan itu ke seluruh lembaga. Sistem pembelian terpusat harus mengontrol pemesanan jenis bahan tertentu, seperti bahan yang mudah terbakar di dalam wadah yang melebihi ukuran tertentu.

Sebelum membeli bahan kimia, pegawai harus mengajukan beberapa pertanyaan:

- Apakah bahan itu sudah tersedia dari laboratorium lain dalam lembaga itu atau ada kelebihan di gudang bahan kimia?
- Berapa jumlah minimal yang diperlukan untuk eksperimen tersebut?
- Berapa ukuran wadah yang paling sesuai di area tempat digunakannya atau disimpannya bahan tersebut? Tetapkan jumlah maksimal yang diperbolehkan untuk bahan kimia yang disimpan di laboratorium, seperti bahan mudah terbakar atau gampang menyala.
- Bisakah bahan kimia tersebut dikelola dengan aman setelah datang? Apakah memerlukan tempat penyimpanan khusus, seperti kotak kedap udara, lemari es, atau freezer? Apakah pegawai penerimaan perlu diberi tahu tentang pesanan itu dan diberi instruksi penerimaan khusus? Akankah peralatan khusus yang diperlukan siap saat pesanan tersebut datang?
- Apakah ada risiko kemungkinan penyalahgunaan bahan kimia secara sengaja? Lihat pembahasan bahaya penggunaan-ganda bahan kimia pada Bab 6, Bagian 4.
- Apakah bahan kimia itu tidak stabil? Bahan yang sifat aslinya tidak stabil mungkin memiliki waktu penyimpanan yang sangat singkat. Bahan tersebut harus dibeli jika akan digunakan untuk menghindari hilangnya reagen dan membuang bahan yang tidak perlu serta menghabiskan waktu.
- Bisakah limbah tersebut dikelola dengan sangat baik? Karakterisasi limbah yang sesuai dan metode pembuangan yang tepat harus diidentifikasi sebelum bahan kimia dipesan.

Jika memungkinkan, gunakan sistem pemesanan terkomputerisasi untuk melacak informasi tentang pengiriman, riwayat pembelian, dan distribusi bahan kimia ke seluruh gedung. Misalnya, pemesanan terpusat mungkin membantu pelacakan bahan yang mudah terbakar, letak prekursor obat terlarang, dan bahan kimia yang perlu diperhatikan (chemicals of concern, COC). Pikirkan penyimpanan terpusat dari Lembar Data Keselamatan Bahan (MSDS) pada jaringan komputer. Data MSDS untuk setiap bahan kimia harus selalu tersedia bagi semua karyawan.

8.3.2 Menerima Bahan Kimia

Batasi pengiriman bahan kimia ke area yang memiliki perlengkapan untuk menangani bahan kimia tersebut, seperti tempat bongkar muat, ruang penerimaan, atau laboratorium. Jangan mengirimkan bahan kimia ke kantor departemen yang tidak memiliki perlengkapan untuk menerima paket ini. Namun, jika pengiriman ke kantor serupa merupakan opsi satu-satunya, tentukan lokasi terpisah dan jauh dari gangguan, seperti meja atau rak, untuk pengiriman bahan kimia. Setelah bahan kimia datang, segera beri tahu pegawai yang memesannya.

Berikut ini langkah-langkah untuk memastikan penerimaan bahan kimia yang tepat:

1. Latih pegawai ruang penerimaan, tempat bongkar muat, dan tata usaha untuk mengenali bahaya yang mungkin terkait dengan bahan kimia yang datang ke fasilitas. Mereka perlu tahu apa yang harus dilakukan jika terjadi masalah, seperti kemasan bocor atau terjadi tumpahan.
2. Lengkapi ruang penerimaan dengan peralatan yang sesuai untuk menerima bahan kimia. Ini meliputi rantai yang menahan silinder dan kereta yang dirancang untuk memindah berbagai jenis wadah bahan kimia dengan selamat (untuk informasi lebih lanjut tentang penyimpanan dan pemindahan silinder gas mampat, lihat Bab 10, Bagian 3). Siapkan rak, meja, atau area terkunci untuk kemasan untuk menghindari kerusakan akibat kendaraan ruang penerimaan.
3. Segera buka paket yang datang dan periksa untuk mengonfirmasi pesanan dan memastikan bahwa segel wadah dalam keadaan baik. Pegawai laboratorium harus memverifikasi bahwa wadah yang sampai dilabeli dengan nama dan tanggal penerimaan yang tepat pada label yang melekat dengan baik. Biarkan label yang dipasang pabrik. Segera masukkan bahan kimia baru ke dalam inventaris laboratorium.
4. Simpan bahan kimia yang tidak dikemas dengan aman. Secara khusus, segera buka kemasan dan simpan bahan kimia reaktif yang dikirimkan dalam wadah logam bersegel (seperti lithium aluminium hidrida, natrium

peroksida, fosfor). Penyimpanan yang tepat mencegah terjadinya degradasi dan korosi serta menyediakan bahan kimia untuk inspeksi berkala.

5. Kirimkan bahan kimia dengan aman di dalam fasilitas. Pegawai boleh membawa satu kotak bahan kimia dalam kemasan aslinya. Pindahkan kelompok paket atau paket berat dengan kereta yang stabil, memiliki tali atau bagian samping untuk mengamankan paket, serta memiliki roda yang cukup besar untuk melewati permukaan yang tidak rata dengan mudah.
6. Jika pegawai pengiriman luar tidak menangani bahan sesuai standar fasilitas penerimaan, segera perbaiki atau cari pengangkut atau pemasok lain.

8.4 Inventaris dan Pelacakan Bahan Kimia

Semua laboratorium harus mencatat semua inventaris bahan kimia yang dimilikinya secara akurat. Inventaris adalah catatan, biasanya dalam bentuk basis-data, bahan kimia dalam laboratorium dan informasi penting tentang pengelolaannya yang tepat. Inventaris yang dikelola dengan baik meliputi bahan kimia yang didapat dari sumber komersial dan yang dibuat di laboratorium, juga lokasi penyimpanan untuk setiap wadah masing-masing bahan kimia. Inventaris membantu dalam pemesanan, penyimpanan, penanganan, dan pembuangan bahan kimia, juga perencanaan darurat.



Lihat *Lampiran G.1. Menyiapkan Inventaris* untuk mendapatkan informasi lebih lanjut tentang penyiapan dan memelihara inventaris.



Lihat *Formulir: Contoh Daftar Inventaris* pada Toolkit yang disertakan.

8.5 Penyimpanan Bahan Kimia

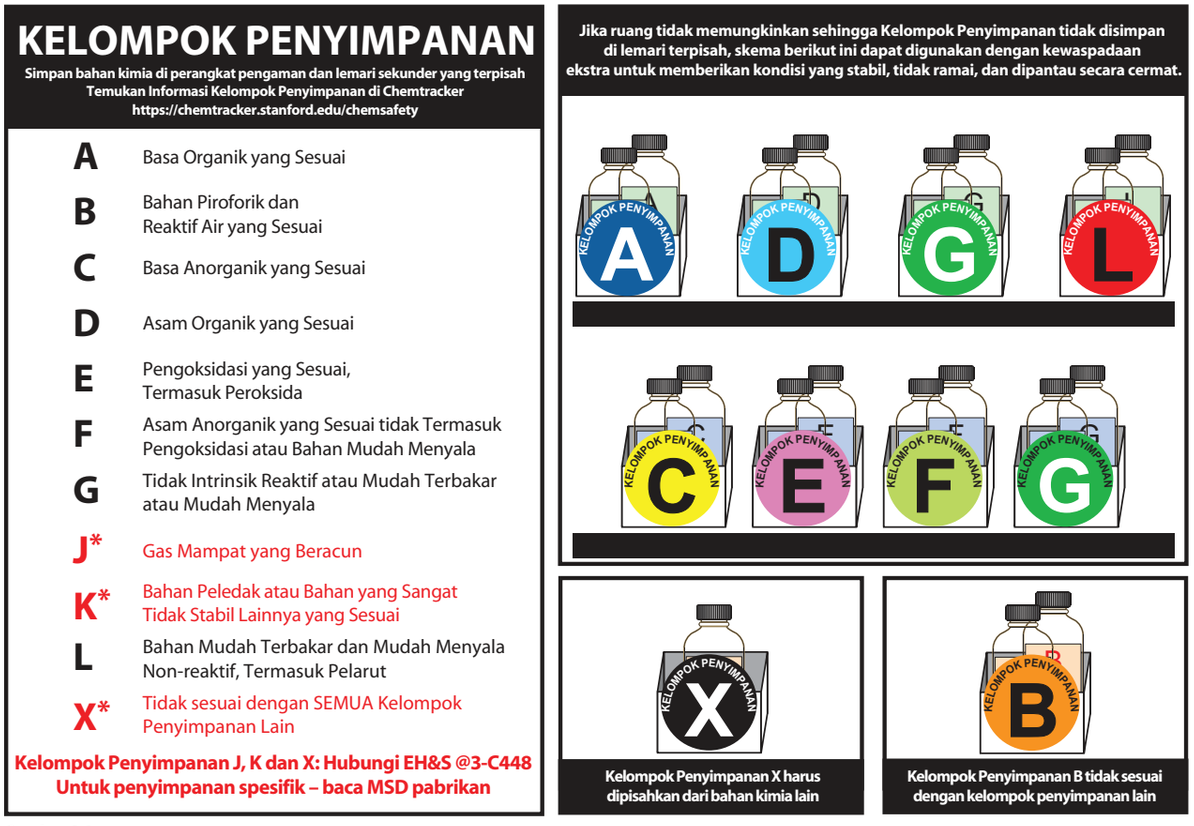
Ikuti panduan umum ini saat menyimpan bahan kimia dan peralatan bahan kimia:

1. Sediakan tempat penyimpanan khusus untuk masing-masing bahan kimia dan kembalikan bahan kimia ke tempat itu setelah digunakan.
2. Simpan bahan dan peralatan di lemari dan rak khusus penyimpanan.
3. Amankan rak dan unit penyimpanan lainnya. Pastikan rak memiliki bibir pembatas di bagian depan agar wadah tidak jatuh. Idealnya, tempatkan wadah cairan pada baki logam atau plastik yang bisa menampung cairan jika wadah rusak. Tindakan pencegahan ini utamanya penting di kawasan yang rawan gempa bumi atau kondisi cuaca ekstrem lainnya.

4. Hindari menyimpan bahan kimia di atas bangku, kecuali bahan kimia yang sedang digunakan. Hindari juga menyimpan bahan dan peralatan di atas lemari. Jika terdapat sprinkler, jaga jarak bebas *minimal 18 inci dari kepala sprinkler.*
5. Jangan menyimpan bahan pada rak yang tingginya lebih dari 5 kaki (~1,5 m).
6. Hindari menyimpan bahan berat di bagian atas.
7. Jaga agar pintu keluar, koridor, area di bawah meja atau bangku, serta area peralatan keadaan darurat tidak dijadikan tempat penyimpanan peralatan dan bahan.
8. Labeli semua wadah bahan kimia dengan tepat. Letakkan nama pengguna dan tanggal penerimaan pada semua bahan yang dibeli untuk membantu kontrol inventaris.
9. Hindari menyimpan bahan kimia pada tudung asap kimia, kecuali bahan kimia yang sedang digunakan.
10. Simpan racun asiri (mudah menguap) atau bahan kimia pewangi pada lemari berventilasi. Jika bahan kimia tidak memerlukan lemari berventilasi, simpan di dalam lemari yang bisa ditutup atau rak yang memiliki bibir pembatas di bagian depan.
11. Simpan cairan yang mudah terbakar di lemari penyimpanan cairan yang mudah terbakar yang disetujui.
12. Jangan memaparkan bahan kimia yang disimpan ke panas atau sinar matahari langsung.
13. Simpan bahan kimia dalam kelompok-kelompok bahan yang sesuai secara terpisah yang disortir berdasarkan abjad. Lihat Gambar 8.1. untuk mendapatkan gambaran metode pengodean warna untuk penyusunan bahan kimia.



Wadah tertutup dan pelabelan yang tepat berkontribusi pada praktik manajemen yang baik.



Gambar 8.1 Sistem klasifikasi kelompok penyimpanan yang sesuai. Gunakan sistem ini sesuai dengan kondisi penyimpanan khusus yang diambil dari label pabrik dan MSDS. **SUMBER: Diadaptasi dari *ChemTracker Storage System (Sistem Penyimpanan ChemTracker) Stanford University*. Digunakan dengan izin dari Stanford University.**

14. Ikuti semua tindakan pencegahan terkait penyimpanan bahan kimia yang tidak sesuai.
15. Berikan tanggung jawab untuk fasilitas penyimpanan dan tanggung jawab lainnya di atas kepada satu penanggung jawab utama dan satu orang cadangan. Kaji tanggung jawab ini minimal setiap tahun.



Lihat *Lampiran G.2. Contoh Kelompok Penyimpanan Bahan yang Sesuai* untuk daftar bahan kimia yang sesuai.

8.5.1 Wadah dan Peralatan

Ikuti panduan khusus di bawah ini tentang wadah dan peralatan yang digunakan untuk menyimpan bahan kimia.

1. Gunakan perangkat pengaman sekunder, seperti wadah pengaman (overpack), untuk menampung bahan jika wadah utama pecah atau bocor.

2. Gunakan baki penyimpanan yang tahan korosi sebagai perangkat pengaman sekunder untuk tumpahan, kebocoran, tetesan, atau cucuran. Wadah polipropilena sesuai untuk sebagian besar tujuan penyimpanan.
3. Sediakan lemari berventilasi di bawah tudung asap kimia untuk menyimpan bahan berbahaya.
4. Segel wadah untuk meminimalkan terlepasnya uap yang korosif, mudah terbakar, atau beracun.

8.5.2 Penyimpanan Dingin

Penyimpanan bahan kimia, biologis dan radioaktif yang aman di dalam lemari es, ruangan yang dingin, atau freezer memerlukan pelabelan dan penataan yang baik. Manajer laboratorium menugaskan tanggung jawab untuk menjaga unit-unit ini agar aman, bersih, dan tertata, serta mengawasi pengoperasiannya yang benar. Ikuti panduan penyimpanan dingin ini:

1. Gunakan lemari penyimpanan bahan kimia *hanya* untuk menyimpan bahan kimia. Gunakan pita dan penanda tahan air untuk memberi label lemari es dan freezer laboratorium.



Lihat *Tanda* pada Toolkit yang disertakan untuk mengetahui contoh label penyimpanan dingin.

2. Jangan menyimpan bahan kimia yang mudah terbakar dalam lemari es, kecuali penyimpanan bahan tersebut disetujui. Jika penyimpanan dalam lemari es diperlukan di dalam ruang penyimpanan bahan yang mudah terbakar, pilih lemari es tahan-ledakan. Jangan menyimpan oksidator atau bahan yang sangat reaktif dalam unit yang sama dengan bahan yang mudah terbakar.
3. Semua wadah harus tertutup dan stabil. Perangkat pengaman sekunder, seperti baki plastik, penting untuk labu laboratorium kimia dan disarankan untuk semua wadah.
4. Labeli semua bahan dalam lemari es dengan isi, pemilik, tanggal perolehan atau penyiapan, dan sifat potensi bahayanya.
5. Tata isi berdasarkan pemilik, namun pisahkan bahan yang tidak sesuai. Tata isi dengan memberi label pada rak dan tempelkan skema penataan di luar unit.
6. Setiap tahun, kaji semua isi dari masing-masing unit penyimpanan dingin. Buang semua bahan tidak berlabel, tidak diketahui, atau tidak diinginkan, termasuk bahan yang dimiliki oleh pegawai yang telah meninggalkan laboratorium.

8.5.3 Penyimpanan Cairan yang Mudah Terbakar dan Gampang Menyala

Cairan yang mudah terbakar dan gampang menyala di laboratorium hanya boleh tersedia dalam jumlah terbatas. Jumlah yang diperbolehkan tergantung pada sejumlah faktor, termasuk

- konstruksi laboratorium;
- jumlah zona api dalam gedung;
- tingkat lantai tempat laboratorium berlokasi;
- sistem pelindungan api yang dibangun dalam laboratorium;
- adanya lemari penyimpanan cairan yang mudah terbakar atau kaleng keselamatan; dan
- jenis laboratorium (yaitu, pendidikan atau penelitian dan pengembangan).

Ikuti panduan ini untuk menyimpan cairan yang mudah terbakar dan gampang menyala:

1. Jika tempatnya memungkinkan, simpan cairan yang gampang menyala dalam lemari penyimpanan bahan yang mudah terbakar.
2. Simpan cairan gampang menyala di dalam wadah aslinya (atau wadah lain yang disetujui) atau dalam kaleng keselamatan. Jika memungkinkan, simpan cairan yang mudah terbakar yang berjumlah lebih dari 1 L dalam kaleng keselamatan.
3. Simpan 55 galon (~208-L) drum cairan yang mudah terbakar dan gampang menyala dalam ruang penyimpanan khusus untuk cairan yang mudah terbakar.
4. Jauhkan cairan yang mudah terbakar dan gampang menyala dari bahan oksidasi kuat, seperti asam nitrat atau kromat, permanganat, klorat, perklorat, dan peroksida.



5. Jauhkan cairan yang mudah terbakar dan gampang menyala dari sumber penyulutan. Ingat bahwa banyak uap yang mudah terbakar lebih berat dibandingkan udara dan dapat menuju ke sumber penyulutan.

8.5.4 Penyimpanan Silinder Gas

Periksa undang-undang gedung dan kebakaran internasional, regional, dan lokal untuk menentukan jumlah gas maksimal yang dapat disimpan di dalam laboratorium. Dengan gas beracun dan reaktif, atau gas penyebab mati lemas dalam jumlah besar, lemari gas khusus mungkin

diperlukan. Lemari gas dirancang untuk pendeteksian kebocoran, penggantian yang aman, ventilasi, dan jalan keluar darurat.

Untuk gas laboratorium yang biasanya digunakan, pertimbangkan pemasangan sistem gas internal. Sistem tersebut menghapuskan perlunya pengiriman dan penanganan silinder gas mampat dalam laboratorium. Bab 10, Bagian 3, memberikan informasi tambahan tentang pengelolaan gas mampat dalam laboratorium.

8.5.5 Penyimpanan Zat yang Sangat Reaktif

Periksa undang-undang gedung dan kebakaran internasional, regional, atau lokal untuk menentukan jumlah maksimal bahan kimia yang sangat reaktif yang dapat disimpan di dalam laboratorium. Ikuti panduan umum di bawah ini saat menyimpan zat yang sangat reaktif.

1. Pertimbangkan persyaratan penyimpanan setiap bahan kimia yang sangat reaktif sebelum membawanya ke dalam laboratorium.
2. Baca MSDS atau literatur lainnya dalam mengambil keputusan tentang penyimpanan bahan kimia yang sangat reaktif.
3. Bawa bahan sejumlah yang diperlukan ke dalam laboratorium untuk tujuan jangka pendek (hingga persediaan 6 bulan, tergantung pada bahannya).
4. Pastikan memberi label, tanggal, dan mencatat dalam inventaris semua bahan yang sangat reaktif segera setelah bahan diterima.



Lihat *Tanda* pada Toolkit yang disertakan untuk mengetahui contoh label untuk zat yang sangat reaktif.

5. Jangan membuka wadah bahan yang sangat reaktif yang telah melebihi tanggal kedaluwarsanya. Hubungi koordinator limbah berbahaya di lembaga Anda untuk mendapatkan instruksi khusus.
6. Jangan membuka peroksida organik cair atau pembentuk peroksida jika ada kristal atau endapan. Hubungi CSSO Anda untuk mendapatkan instruksi khusus.
7. Untuk masing-masing bahan kimia yang sangat reaktif, tentukan tanggal pengkajian untuk mengevaluasi kembali kebutuhan dan kondisi dan untuk membuang (atau mendaur ulang) bahan yang terurai dari waktu ke waktu.



Asam harus disimpan dalam botol kaca yang dimasukkan dalam wadah individu dan disimpan di atas baki. Upaya ini akan membuat bahan terpisah dan tidak terkena tumpahan apa pun.

8. Pisahkan bahan berikut:
   - agen pengoksidasi dengan agen pereduksi dan bahan mudah terbakar;
   - bahan reduksi kuat dengan substrat yang mudah direduksi;
   - senyawa piroforik dengan bahan yang mudah terbakar; dan
   - asam perklorik dengan bahan reduksi.
9. Simpan cairan yang sangat reaktif di baki yang cukup besar untuk menampung isi botol.
10. Simpan botol asam perklorik dalam baki kaca atau keramik.
11. Jauhkan bahan yang dapat diubah menjadi peroksida dari panas dan cahaya.
12. Simpan bahan yang bereaksi aktif dengan air sejauh mungkin dari kemungkinan kontak dengan air.
13. Simpan bahan yang tidak stabil karena panas dalam lemari es. Gunakan lemari es dengan fitur keselamatan ini:
    - semua kontrol yang menghasilkan percikan di bagian luar;
    - pintu terkunci magnetik;
    - alarm yang memperingatkan jika suhu terlalu tinggi; dan
    - suplai daya cadangan.
14. Simpan peroksida organik cair pada suhu terendah yang mungkin sesuai dengan daya larut atau titik beku. Peroksida cair sangat sensitif selama perubahan fase. Ikuti panduan pabrik untuk penyimpanan bahan yang sangat berbahaya ini.
15. Lakukan inspeksi dan uji bahan kimia pembentuk peroksida secara periodik dan beri bahan label akuisisi dan tanggal kedaluwarsa. Buang bahan kimia yang kedaluwarsa.
16. Simpan bahan yang sangat sensitif atau simpan lebih banyak bahan eksplosif dalam kotak anti ledakan.
17. Batasi akses ke fasilitas penyimpanan.

8.5.6 Penyimpanan Bahan yang Sangat Beracun

Lakukan tindakan pencegahan berikut saat menyimpan karsinogen, toksin reproduktif, dan bahan kimia dengan tingkat toksisitas akut tinggi.

1. Simpan bahan kimia yang diketahui sangat beracun dalam penyimpanan berventilasi dalam perangkat pengaman sekunder yang resisten secara kimia dan anti pecah.
2. Jaga jumlah bahan pada tingkat kerja minimal.
3. Beri label area penyimpanan dengan tanda peringatan yang sesuai.
4. Batasi akses ke area penyimpanan.
5. Pelihara inventaris untuk semua bahan kimia yang sangat beracun.

8.6 Pemindahan, Pengangkutan, dan Pengiriman Bahan Kimia

Saat memindahkan bahan kimia di lokasi kerja, gunakan perangkat pengaman sekunder, seperti kaleng karet, untuk membawa bahan kimia yang disimpan dalam botol. Lembaga dengan kampus yang besar mungkin ingin memakai pembawa atau kendaraan khusus untuk mengangkut bahan yang diatur peraturan tertentu.

Peraturan internasional berlaku untuk pemindahan bahan kimia, sampel, dan bahan penelitian lainnya di jalan publik, dengan pesawat terbang, atau melalui pos atau pengangkutan lainnya. Hukum nasional dan internasional mengatur dengan ketat pengiriman domestik dan internasional sampel, contoh, obat, dan elemen genetik, serta peralatan penelitian, teknologi, dan bahan, meski bahan tersebut tidak berbahaya, tidak berharga, atau umum sekali pun.

Untuk sebagian besar bahan kimia, bahan biologis, dan radioaktif, pengiriman domestik atau internasional diatur oleh International Air Transport Association (IATA/Asosiasi Transportasi Udara Internasional; lihat *www.iata.org*). Individu yang mempunyai sertifikat IATA harus melakukan inspeksi pengemasan, pengkajian administrasi, dan menandatangani dokumen pengiriman.

Beri label selengkap mungkin segala sampel bahan eksperimen yang akan dikirimkan. Jika tersedia, sertakan informasi berikut dengan bahan eksperimen yang dikirimkan:

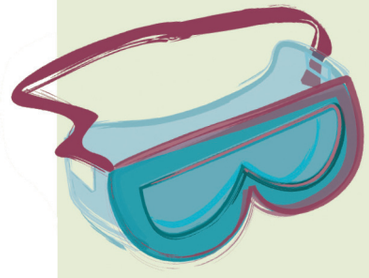
- **Pemilik awal:** nama pemilik atau individu yang menerima bahan pertama kali. Jika mengirimkan bahan ke fasilitas lainnya, tambahkan informasi kontak untuk orang yang dapat memberikan informasi penanganan yang aman.

- **Tanda pengenal:** rujukan catatan laboratorium.
- **Komponen berbahaya:** komponen berbahaya utama yang diketahui.
- **Potensi bahaya:** bahaya yang mungkin timbul.
- **Tanggal:** tanggal bahan diletakkan di wadah dan diberi label.
- **Dikirim ke:** nama, lokasi, dan nomor telepon orang yang menjadi tujuan pengiriman bahan.
- **MSDS:** sertakan ini dengan sampel bahan berbahaya yang dikirimkan ke lembaga lainnya.

Angkut bahan berbahaya menggunakan kendaraan yang dirancang khusus yang mematuhi peraturan internasional. Jangan menggunakan kendaraan pribadi, perusahaan, atau lembaga (termasuk pesawat terbang), untuk mengirimkan bahan kimia berbahaya.

9







Bekerja dengan Bahan Kimia

9.1 Pendahuluan **115**

9.2 Perencanaan Cermat **116**

9.3 Prosedur Umum untuk Bekerja dengan Bahan Kimia Berbahaya **116**

9.3.1 Perilaku Pribadi 116

9.3.2 Mengurangi Paparan ke Bahan Kimia 117

9.3.2.1 Kendali Teknik 117

9.3.2.2 Menghindari Cedera Mata 117

9.3.2.3 Menghindari Mencerna Bahan Kimia Berbahaya 117

9.3.2.4 Menghindari Penghirupan Bahan Kimia Berbahaya 118

9.3.2.5 Meminimalkan Kontak Kulit 118

9.3.3 Perawatan 120

9.3.4 Menangani Zat yang Mudah Terbakar 121

9.3.5 Bekerja dengan Reaksi yang Diperbesar 122

9.3.6 Membiarkan Eksperimen Tidak Dijaga dan Bekerja Sendirian 123

9.3.7 Menanggulangi Kecelakaan dan Keadaan Darurat 123

9.3.7.1 Menangani Pelepasan Zat Berbahaya Secara Tidak Disengaja 123

9.3.7.2 Perangkat Pengaman Tumpahan 124

9.3.7.3 Tumpahan dengan Zat Bertoksisitas Tinggi 125

9.3.7.4 Pembersihan Tumpahan 126

9.3.7.5 Menangani Tumpahan Merkuri Unsur 127

9.3.7.6 Menanggulangi Kebakaran 128

9.4 Bekerja dengan Zat dengan Toksisitas Tinggi **129**

9.4.1 Merencanakan Eksperimen yang Melibatkan Bahan Kimia Sangat Beracun 129

9.4.2 Menandai Area yang Ditentukan 130

9.4.3 Mengendalikan Akses 130

9.4.4 Meminimalkan Paparan ke Bahan Kimia Sangat Beracun 130
9.4.5 Penyimpanan dan Pembuangan Limbah 131

9.5 Bekerja dengan Bahan Berbahaya Hayati 132

9.6 Bekerja dengan Bahan Kimia yang Mudah Terbakar 132
9.6.1 Bekerja dengan Cairan Mudah Terbakar 133
9.6.2 Bekerja dengan Gas yang Mudah Terbakar 134

9.7 Bekerja dengan Bahan Kimia yang Sangat Reaktif atau Mudah Meledak 134
9.7.1 Bekerja dengan Senyawa Reaktif atau Eksplosif 136
9.7.1.1 Menggunakan Perangkat Pelindung 136
9.7.1.2 Menggunakan Peralatan Pelindung Diri 137
9.7.1.3 Mengevaluasi Bahan Berpotensi Reaktif 138
9.7.1.4 Menentukan Kuantitas Reaksi 138
9.7.1.5 Melakukan Operasi Reaksi 138
9.7.2 Bekerja dengan Peroksida Organik 139
9.7.3 Bekerja dengan Senyawa yang Dapat Diubah Menjadi Peroksida 140
9.7.4 Bekerja dengan Reaksi Hidrogenasi 142
9.7.5 Bekerja dengan Bahan Kimia yang Tidak Sesuai 143

9.1 Pendahuluan

Pelaksanaan eksperimen yang selamat dan aman memerlukan praktik kerja yang mengurangi risiko dan melindungi kesehatan dan keselamatan pegawai laboratorium, sekaligus publik dan lingkungan. Bab ini membahas panduan umum pekerjaan laboratorium dengan bahan kimia berbahaya, tetapi tidak membahas prosedur pengoperasian standar khusus untuk masing-masing zat. Pegawai laboratorium harus melakukan pekerjaan mereka dalam rendah risiko, baik risiko yang disebabkan zat berbahaya yang dikenal maupun yang tidak dikenal. Praktik kerja umum dalam bab ini menunjukkan bagaimana cara mencapai tujuan tersebut.

Empat prinsip yang mendasari semua praktik kerja yang dibahas dalam bab ini:

1. **Rencanakan sebelumnya.** Tentukan potensi bahaya yang terkait dengan eksperimen sebelum memulai (lihat Bab 7 untuk rincian lebih lanjut tentang menilai bahaya). Terapkan rencana untuk menangani limbah yang dihasilkan di laboratorium sebelum memulai pekerjaan apa pun (lihat Bab 11 untuk informasi lebih lanjut tentang mengelola limbah).
2. **Batasi paparan ke bahan kimia.** Jangan sampai bahan kimia laboratorium bersentuhan dengan tubuh. Gunakan tudung kimia laboratorium dan perangkat ventilasi lainnya untuk mencegah paparan ke zat yang menyebar melalui udara kapan pun memungkinkan (lihat Bab 10 untuk informasi lebih lanjut tentang peralatan laboratorium).
3. **Jangan meremehkan risiko.** Anggap campuran bahan kimia lebih beracun dibanding komponennya yang paling beracun. Perlakukan semua senyawa dan zat baru dari toksisitas tak dikenal sebagai zat beracun.
4. **Bersiaplah jika kecelakaan terjadi.** Sebelum memulai eksperimen, ketahui tindakan tertentu yang harus diambil jika terjadi pelepasan zat berbahaya secara tidak disengaja. Ketahui lokasi semua peralatan keselamatan dan alarm kebakaran serta telepon terdekat, dan ketahui nomor telepon yang harus dihubungi dan orang yang harus diberi tahu jika terjadi keadaan darurat. Bersiaplah untuk memberikan tindakan darurat dasar. Selalu beri tahukan kegiatan Anda kepada rekan kerja agar mereka dapat menanggapi dengan semestinya.



Banyak elemen rencana darurat yang baik dapat diterapkan dengan mudah. Pasang nomor telepon darurat di tempat yang memungkinkannya ditemukan dan digunakan dengan segera.

9.2 Perencanaan Cermat

Sebelum memulai pekerjaan laboratorium apa pun, tentukan bahaya dan risiko terkait eksperimen atau kegiatan, dan lakukan tindakan pencegahan keselamatan yang diperlukan.

1. Ajukan pertanyaan hipotetis berikut sebelum memulai pekerjaan: *Apa yang akan terjadi jika ...?* Misalnya, apa yang akan terjadi jika laboratorium kehilangan daya listrik atau tekanan air? Pertimbangkan rencana cadangan yang dilakukan dan bersiaplah untuk mengambil tindakan darurat.
2. Pahami rencana kesiapan keadaan darurat laboratorium (lihat Bab 3 untuk rincian lebih lanjut tentang perencanaan keadaan darurat).
3. Tentukan bahaya fisik dan kesehatan yang terkait sebelum bekerja dengan bahan kimia, seperti diuraikan pada Bab 7.
4. Perhatikan potensi implikasi keselamatan dari sedikit perubahan pada prosedur eksperimen. Sedikit perubahan pada operasi—pelarut, pemasok, konsentrasi reagen, skala reaksi, dan bahan reaksi—dapat menyebabkan bahaya tidak terduga.
5. Periksa setiap langkah proses minimisasi dan pembuangan limbah menurut peraturan yang berlaku jika ada.

9.3 Prosedur Umum untuk Bekerja dengan Bahan Kimia Berbahaya

9.3.1 Perilaku Pribadi

Semua pegawai harus mematuhi standar profesional berikut:

1. Hindari mengganggu atau mengejutkan pegawai lain.
2. Jangan biarkan lelucon praktis, keributan, atau kegaduhan berlebih terjadi kapan pun.
3. Gunakan peralatan laboratorium hanya untuk tujuan yang dimaksudkan.
4. Kaji prosedur keselamatan dasar dengan seluruh pengunjung laboratorium tempat zat berbahaya disimpan atau digunakan atau tempat kegiatan berbahaya sedang berlangsung.
5. Jika anak di bawah umur diizinkan berada di laboratorium, pastikan mereka mendapat pengawasan langsung sepanjang waktu dari orang dewasa yang kompeten. Kembangkan kebijakan terkait anak di bawah umur di dalam laboratorium, dan kaji serta setujui semua kegiatan anak di bawah umur sebelum kedatangan mereka. Pastikan pegawai laboratorium lainnya yang berada di area mengetahui keberadaan anak di bawah umur.

9.3.2 Mengurangi Paparan ke Bahan Kimia

Berhati-hatilah untuk menghindari cara paparan paling umum: kontak kulit dan mata, penghirupan, dan pencernaan. Metode yang dianjurkan untuk mengurangi paparan bahan kimia, menurut urutan preferensi, adalah sebagai berikut:

1. Penggantian dengan bahan atau proses yang tidak begitu berbahaya
2. Kendali teknik
3. Kendali administratif
4. Peralatan pelindung diri (PPE; Lihat juga bagian 10.5)

9.3.2.1 *Kendali Teknik*

Kendali teknik adalah tindakan yang menghilangkan, memisahkan, atau mengurangi paparan ke bahaya kimia atau fisik melalui penggunaan berbagai perangkat. Contohnya antara lain tudung kimia laboratorium dan sistem ventilasi lainnya, pelindung, barikade, dan interlock. *Kendali teknik harus menjadi lini pertahanan pertama dan utama untuk melindungi pegawai dan properti. PPE tidak boleh digunakan sebagai lini perlindungan pertama.* Misalnya, respirator pribadi tidak boleh digunakan untuk mencegah penghirupan uap jika tudung kimia laboratorium (sebelumnya disebut tudung asap) tersedia.

9.3.2.2 *Menghindari Cedera Mata*

Pelindung mata wajib digunakan oleh semua pegawai dan pengunjung di seluruh lokasi tempat bahan kimia disimpan atau digunakan, baik seseorang benar-benar melakukan operasi kimia maupun tidak. Sediakan pelindung mata untuk semua pengunjung di pintu masuk semua laboratorium. Peneliti harus menilai risiko yang terkait dengan eksperimen dan menggunakan tingkat perlindungan mata yang sesuai. Operasi yang berisiko ledakan atau menyebabkan kemungkinan proyektil harus memiliki kendali teknik sebagai lini perlindungan pertama.



Kaca mata dan sarung tangan sangat penting untuk melindungi mata dan tangan dari paparan kimia secara tidak disengaja di laboratorium.

Lensa kontak tidak memberi perlindungan terhadap cedera mata dan bukan merupakan pengganti kaca mata keselamatan atau kaca mata percikan bahan kimia. Lensa kontak tidak boleh digunakan jika ada kemungkinan terjadinya paparan ke uap kimia, percikan bahan kimia, atau debu bahan kimia. Lensa kontak dapat rusak dalam kondisi semacam ini.

9.3.2.3 *Menghindari Mencerna Bahan Kimia Berbahaya*

Di laboratorium, **jangan izinkan**

- makan, minum, merokok, mengunyah permen karet, menggunakan kosmetik, dan meminum obat di tempat bahan kimia berbahaya digunakan;

- menyimpan makanan, minuman, cangkir, dan peralatan makan dan minum lainnya di tempat bahan kimia ditangani atau disimpan;
- penyiapan atau konsumsi makanan atau minuman dalam peralatan dari kaca yang digunakan untuk operasi laboratorium;
- penyimpanan atau penyiapan makanan di lemari es, peti es, ruang dingin, dan oven laboratorium;
- penggunaan sumber air laboratorium dan air laboratorium demineral sebagai air minum;
- mengecap bahan kimia laboratorium; dan
- pemipetan dengan mulut (bola pipet, aspirator, atau perangkat mekanik harus digunakan untuk memipet bahan kimia atau memulai sifon).

Cuci tangan dengan sabun dan air segera setelah bekerja dengan bahan kimia laboratorium apa pun, meski sudah mengenakan sarung tangan.

9.3.2.4 *Menghindari Penghirupan Bahan Kimia Berbahaya*

Endus bahan kimia hanya dalam situasi tertentu yang terkendali. Jangan sekali-kali mengendus bahan kimia beracun atau senyawa dengan toksisitas tidak diketahui. Lakukan semua prosedur yang melibatkan zat beracun yang mudah menguap dan semua operasi yang melibatkan zat beracun padat atau cair yang dapat mengakibatkan pembentukan aerosol di bawah tudung kimia (lihat Bab 5 untuk informasi lebih lanjut tentang tudung kimia laboratorium). Respirator pemurni udara harus digunakan dengan beberapa bahan kimia jika kendali teknik tidak dapat mencegah paparan. Pelatihan signifikan diperlukan untuk penggunaan respirator.

Dalam latar terkendali, instruktur dapat meminta siswa mengendus isi wadah. Dalam kasus semacam itu, periksa dulu bahan kimia yang diendus untuk memastikannya aman. Jika diperintahkan untuk mengendus bahan kimia, perlahan arahkan uap ke hidung Anda dengan selembar kertas yang dilipat. Jangan menghirup uap secara langsung.

Jangan menggunakan tudung kimia laboratorium untuk pembuangan bahan yang mudah menguap dan berbahaya melalui evaporasi. Bahan semacam itu harus diperlakukan sebagai limbah kimia dan dibuang dalam wadah yang sesuai menuut prosedur lembaga dan peraturan pemerintah (lihat Bab 11 untuk informasi lebih lanjut tentang mengelola limbah).

9.3.2.5 *Meminimalkan Kontak Kulit*

Kenakan sarung tangan kapan pun Anda menangani bahan kimia berbahaya, benda dengan tepi tajam, bahan yang sangat panas atau sangat dingin, bahan kimia beracun, dan zat dengan toksisitas tidak diketahui. Tidak ada satu bahan sarung tangan yang memberikan perlindungan untuk semua penggunaan.

Panduan umum berikut berlaku untuk pemilihan dan penggunaan sarung tangan pelindung:

1. Pilih sarung tangan dengan hati-hati untuk memastikan bahwa sarung tangan tidak dapat dilalui bahan kimia yang digunakan dan memiliki ketebalan yang tepat untuk memungkinkan keterampilan yang wajar sekaligus memberi perlindungan penghalang yang memadai.
   - Secara umum, sarung tangan nitril sesuai untuk kontak insidental dengan bahan kimia.
   - Baik sarung tangan nitril maupun lateks memberi perlindungan minimal dari pelarut berklorin dan tidak boleh digunakan dengan asam yang beroksidasi atau korosif.
   - Sarung tangan lateks melindungi terhadap bahaya biologis tetapi menawarkan perlindungan kurang baik terhadap asam, basa, dan sebagian besar pelarut organik. Selain itu, lateks dianggap sebagai pemeka dan memicu reaksi alergi pada beberapa individu.
   - Sarung tangan neoprena dan karet dengan penambahan ketebalan dianjurkan untuk digunakan dengan sebagian besar bahan tajam dan berasam.
   - Sarung tangan kulit sesuai untuk menangani peralatan dari kaca yang pecah dan memasukkan tabung ke sumbat, dimana perlindungan dari bahan kimia tidak diperlukan.
   - Sarung tangan berinsulasi harus digunakan saat bekerja dengan bahan yang sangat panas atau sangat dingin.
2. Jangan menggunakan sarung tangan yang sudah kedaluwarsa. Kualitas sarung tangan menurun dari waktu ke waktu, bahkan dalam kotak yang tidak dibuka.
3. Periksa sarung tangan untuk menemukan lubang kecil, robekan, dan tanda penurunan kualitas sebelum digunakan.
4. Cuci sarung tangan dengan benar sebelum melepasnya. (*Catatan:* Beberapa sarung tangan, seperti kulit dan polivinil alkohol, dapat menyerap air. Jika tidak dilapisi

Tidak ada satu bahan sarung tangan yang memberikan perlindungan untuk semua penggunaan.

Sarung tangan lab berat dipilih untuk memberi perlindungan memadai untuk tugas ini.



dengan lapisan pelindung, sarung tangan polivinil alkohol akan menurun kualitasnya jika terkena air.)

5. Cuci dan periksa sarung tangan pakai ulang setiap sebelum dan setelah digunakan. Ganti sarung tangan secara berkala karena kualitasnya menurun bila sering digunakan, tergantung frekuensi penggunaan dan karakteristik perembesan dan penurunan kualitasnya relatif terhadap zat yang ditangani.
6. Sarung tangan yang dapat terkontaminasi bahan beracun harus dijauhkan dari area terdekat (biasanya tudung kimia laboratorium) tempat bahan kimia diletakkan. Sarung tangan ini lebih baik digunakan di luar laboratorium atau saat menangani item yang sering digunakan, seperti gagang pintu, telepon, saklar, bolpoin, dan keyboard komputer.
7. Kenakan dua pasang sarung tangan jika satu bahan sarung tangan tidak memberi perlindungan memadai untuk semua bahaya yang ditemukan dalam operasi yang dilakukan. Misalnya, operasi yang melibatkan bahaya kimia dan benda tajam mungkin memerlukan kombinasi penggunaan sarung tangan tahan bahan kimia (butil, viton, neoprena) dan sarung tangan tidak mudah sobek (kulit, Kevlar, dll.).

Sarung tangan diperlukan bahkan saat menangani bahan kimia dalam botol—yang dapat pecah.



8. Jika tidak digunakan, simpan sarung tangan di laboratorium tetapi tidak di dekat bahan yang mudah menguap. Untuk mencegah kontaminasi, jangan menyimpan sarung tangan di kantor, ruang istirahat, atau ruang makan siang.
9. Pegawai yang diketahui mengidap alergi lateks tidak boleh menggunakan sarung tangan lateks dan harus menghindari bekerja di area tempat sarung tangan lateks digunakan.

9.3.3 Perawatan

Laborarotium yang rapi adalah laboratorium yang aman. Sebaliknya, laboratorium yang tidak tertata dapat memperlambat atau membahayakan lembaga tanggap darurat. Ikuti aturan perawatan berikut ini:

1. Jangan menghalangi akses ke jalan keluar dan peralatan darurat seperti pemadam api dan pancuran keselamatan. Ikuti undang-undang kebakaran setempat untuk jalan keluar darurat, panel listrik, dan lebar lorong minimal.
2. Bersihkan daerah kerja secara teratur, termasuk lantai, untuk mengurangi bahaya pernapasan.

3. Beri label dengan benar dan simpan semua bahan kimia dengan rapi secara berurutan. Hadapkan label ke arah luar agar mudah dilihat. Wadah harus bersih dan bebas debu. Untuk wadah dan label yang mulai rusak, ganti, kemas ulang, atau buang di tempat yang sesuai.
4. Kembalikan semua peralatan dan bahan kimia laboratorium ke tempat penyimpanan yang ditentukan di akhir hari.
5. Kencangkan semua tabung gas yang dimampatkan ke dinding atau bangku.
6. Jangan menyimpan wadah bahan kimia di lantai.
7. Jangan menggunakan lantai, tangga, dan koridor sebagai area penyimpanan.

9.3.4 Menangani Zat yang Mudah Terbakar

Material yang mudah terbakar dan gampang menyala merupakan bahaya laboratorium yang umum. Selalu pertimbangkan risiko kebakaran saat merencanakan operasi laboratorium.

1. Untuk mengurangi risiko kebakaran, pelajari dahulu sifat kemudahbakaran dan ledakan bahan yang digunakan. Baca label pelarut, lembar data keselamatan bahan (MSDS), atau sumber informasi lainnya untuk mengetahui titik nyala, tekanan uap, dan ambang ledakan di udara dari masing-masing bahan kimia yang ditangani.
2. Bila memungkinkan, singkirkan sumber penyulutan dan hindari adanya bahan bakar dan pengoksidasi secara bersamaan. Kendalikan, tampung, dan kurangi jumlah bahan bakar dan pengoksidasi. Jangan menggunakan wadah yang memiliki bukaan besar (msl., beaker, rencaman, bejana) dengan cairan yang sangat mudah terbakar atau dengan cairan di atas titik nyala. Pertimbangkan menggunakan gas lembam untuk menyelimuti atau memurnikan bejana yang berisi cairan mudah terbakar.
3. Rencanakan untuk mencegah maupun menanggulangi tumpahan cairan yang mudah terbakar. Letakkan labu distilasi dan reaksi di perangkat pengaman sekunder untuk mencegah penyebaran cairan yang mudah terbakar jika labu pecah.
4. Pelajari rencana dan prosedur kesiapan keadaan darurat lembaga dan laboratorium untuk menanggulangi kebakaran. Gunakan pemadam api di dekat tempat eksperimen yang sesuai dengan bahaya kebakaran tertentu. Pasang nomor telepon yang harus dihubungi jika terjadi keadaan darurat atau kecelakaan di tempat yang mudah terlihat. Untuk perencanaan keadaan darurat lebih lanjut, lihat Bab 3.

Semua sumber pemantik api, seperti uji nyala untuk garam litium ini, merupakan sumber api potensial.



9.3.5 Bekerja dengan Reaksi yang Diperbesar

Diperlukan perhatian dan perencanaan khusus untuk menjaga agar pekerjaan yang skalanya diperbesar tersebut tetap aman. Reaksi yang skalanya diperbesar mencakup reaksi yang menghasilkan beberapa milligram atau gram hingga reaksi yang menghasilkan lebih dari 100 g produk, dan dapat meningkatkan risiko secara signifikan. Meski prosedur dan kontrol untuk reaksi yang berskala besar mungkin sama dengan reaksi berskala kecil, dapat terjadi perbedaan besar dalam transfer panas, efek pengadukan, waktu pelarutan, dan efek konsentrasi. Evaluasi bahaya reaksi yang skalanya diperbesar jika terdapat kondisi berikut:

- Bahan awal dan perantara mengandung kelompok fungsional yang memiliki riwayat keterikatan ledakan atau yang dapat meledak sehingga meningkatkan tekanan secara besar-besaran.
- Reaktan atau produk tidak stabil di dekat suhu reaksi atau kerja (uji dasar terdiri dari memanaskan sampel kecil dalam tabung titik leleh).
- Reaktan dapat berpolimerisasi sendiri.
- Reaksi tertunda, artinya diperlukan periode induksi.
- Terbentuk produk sampingan yang mengandung gas.
- Reaksi eksotermik, dan harus dibuat rencana untuk memberi atau mendapat kembali kontrol reaksi jika mulai berjalan di luar kendali.
- Reaksi memerlukan periode reflux yang panjang dan pelarut mungkin hilang karena pendinginan kondensor yang buruk.
- Reaksi memerlukan suhu kurang dari 0°C dan dapat menimbulkan bahaya jika dipanaskan hingga suhu ruang.
- Reaksi melibatkan pengadukan campuran reagen padat dan cair. (Ajukan pertanyaan seperti, Apakah pengadukan magnetik akan memadai pada skala besar atau diperlukan pengadukan mekanik dari atas? Apa yang akan terjadi jika efisiensi pengadukan tidak dipertahankan pada skala besar?)

Selain itu, fenomena termal yang menghasilkan efek signifikan pada skala besar mungkin tidak terdeteksi pada reaksi skala kecil sehingga kurang terlihat dibanding bahaya racun atau lingkungan. Gunakan teknik analitis termal untuk menentukan apakah diperlukan modifikasi proses.

Pertimbangkan untuk meningkatkan skala proses dalam beberapa langkah kecil, dengan mengevaluasi masalah di atas pada masing-masing langkah. Pastikan untuk mempelajari literatur dan sumber lainnya untuk sepenuhnya memahami sifat reaktif reaktan dan pelarut, yang mungkin tidak terjadi pada skala kecil.

9.3.6 Membiarkan Eksperimen Tidak Dijaga dan Bekerja Sendirian

Tidak dianjurkan untuk bekerja sendirian di bangku dalam gedung laboratorium. Pegawai yang bekerja sendiri harus melakukan pengaturan untuk memeriksa satu sama lain secara berkala atau meminta penjaga keamanan untuk memeriksa mereka. Jangan melakukan eksperimen berbahaya sendirian di dalam laboratorium.

Hindari meninggalkan operasi jika memungkinkan. Tetapi, kadangkala operasi laboratorium yang melibatkan zat berbahaya harus dilakukan secara berkelanjutan atau sepanjang malam tanpa ada siapa pun. Dalam kasus tersebut, pegawai harus merancang eksperimen untuk mencegah pelepasan zat berbahaya jika layanan utilitas seperti listrik, air pendingin, dan aliran gas lembam terganggu.

Untuk operasi yang tidak dijaga, tinggalkan laboratorium dalam keadaan menyala dan pasang tanda yang menunjukkan sifat eksperimen dan zat berbahaya yang digunakan. Bila sesuai, buat pengaturan untuk pekerja lainnya agar memeriksa operasi secara berkala. Pasang informasi yang menunjukkan bagaimana cara menghubungi orang yang bertanggung jawab jika terjadi keadaan darurat.

9.3.7 Menanggulangi Kecelakaan dan Keadaan Darurat

Semua pegawai laboratorium harus mengetahui apa yang harus dilakukan dalam keadaan darurat. Setiap laboratorium harus memiliki rencana tanggap darurat tertulis yang mengatasi cedera, tumpahan, kebakaran, kecelakaan, dan keadaan darurat lainnya yang mungkin terjadi serta mencakup prosedur untuk komunikasi dan penanggulangan. Pekerjaan laboratorium tidak boleh dilakukan tanpa mengetahui rencana tanggap darurat. Baca Bab 3 untuk informasi lebih lanjut tentang menanggulangi keadaan darurat.

9.3.7.1 *Menangani Pelepasan Zat Berbahaya Secara Tidak Disengaja*

Selalu rancang eksperimen untuk mengurangi kemungkinan pelepasan zat berbahaya secara tidak disengaja. Staf laboratorium harus menggunakan jumlah bahan berbahaya seminimal mungkin dan melakukan eksperimen sedemikian rupa sehingga, sebanyak mungkin, tumpahan apa pun tertampung.

Jika terjadi tumpahan skala laboratorium secara tidak disengaja, ikuti panduan umum berikut, secara berurutan:

1. **Beri tahu pegawai laboratorium lainnya tentang kecelakaan tersebut.** Dalam beberapa kasus, seperti insiden yang melibatkan pelepasan zat sangat beracun atau tumpahan yang terjadi di area selain laboratorium, mungkin tepat untuk mengaktifkan alarm kebakaran guna memperingatkan semua orang untuk mengevakuasi seluruh gedung. Hubungi lembaga tanggap darurat yang sesuai. Ikuti kebijakan lembaga Anda untuk situasi semacam itu.

2. **Bila perlu, evakuasi area.** Jika gas sangat beracun atau bahan yang mudah menguap dilepaskan, evakuasi laboratorium dan tempatkan pegawai di pintu masuk untuk mencegah orang lain memasuki area yang terkontaminasi.
3. **Rawat pegawai yang cedera atau terkontaminasi dan, bila perlu, mintalah bantuan.** Jika seseorang mengalami cedera atau terkontaminasi zat berbahaya, merawatnya lebih diutamakan dari menerapkan tindakan kontrol tumpahan. Cari pertolongan medis untuk orang itu sesegera mungkin dengan menghubungi lembaga tanggap darurat. Berikan salinan MSDS yang sesuai kepada dokter yang datang, bila perlu. *Jika Anda tidak dapat menilai kondisi lingkungan dengan cukup baik untuk memastikan keselamatan diri Anda, jangan memasuki area.* Hubungi lembaga tanggap darurat dan jelaskan situasi tersebut sebaik mungkin.
4. **Lakukan beberapa langkah untuk menghalangi dan membatasi tumpahan jika hal ini dapat dilakukan tanpa risiko cedera atau kontaminasi** (lihat di bawah ini untuk informasi lebih lanjut).
5. **Bersihkan tumpahan dengan prosedur yang sesuai** (lihat di bawah ini untuk informasi lebih lanjut).
6. **Buang bahan yang terkontaminasi dengan benar** (lihat Bab 11 untuk rincian lebih lanjut).

9.3.7.2 *Perangkat Pengaman Tumpahan*

Semua orang yang bekerja di laboratorium tempat zat berbahaya digunakan harus mengetahui kebijakan kendali tumpahan lembaga mereka. Untuk tumpahan non-darurat, perangkat pengendali tumpahan yang disesuaikan untuk potensi risiko bahan yang digunakan mungkin tersedia. Perangkat ini digunakan untuk menghalangi dan membatasi tumpahan jika dapat dilakukan tanpa risiko cedera atau kontaminasi. Tunjuk seseorang untuk menyimpan perangkat. Simpan perangkat tumpahan di dekat jalan keluar laboratorium agar siap diakses. Perangkat pengendali tumpahan biasa mencakup item berikut:

- Bantal pengendali tumpahan. Secara umum, gunakan bantal yang dijual bebas ini untuk menyerap pelarut, asam, dan alkali tajam, tetapi jangan digunakan untuk menyerap asam hidroflorat.
- Absorben lembam, seperti vermikulit, tanah liat, dan pasir. Kertas bukan bahan yang lembam dan tidak boleh digunakan untuk membersihkan bahan pengoksidasi seperti asam nitrat.

- Bahan penetral untuk tumpahan asam seperti natrium karbonat dan natrium bikarbonat.
- Bahan penetral untuk tumpahan alkali seperti natrium bisulfat dan asam sitrat.
- Sekop plastik besar dan peralatan lainnya seperti sapu, ember, kantung, dan pengki.
- PPE, peringatan, pita barikade, dan perlindungan yang tepat agar tidak tergelincir atau terjatuh di lantai basah selama atau setelah pembersihan.



Bahan penyerap untuk tumpahan bahan kimia paling baik disimpan di dekat jalan keluar, sehingga bahan tersebut dapat ditemukan dengan mudah saat diperlukan.

Dalam keadaan darurat, ikuti panduan lembaga terkait perangkat pengaman tumpahan.

Penanggulangan non-darurat dapat dilakukan jika terjadi pelepasan zat berbahaya secara tidak disengaja bila zat tersebut dapat diserap, dinetralkan, maupun dikendalikan oleh pegawai terdekat atau pegawai perawatan. Keadaan darurat adalah situasi yang menimbulkan ancaman langsung terhadap keselamatan dan kesehatan pribadi, lingkungan, atau properti yang tidak dapat dikendalikan dengan aman dan mudah oleh orang yang berada di lokasi kejadian.

9.3.7.3 *Tumpahan dengan Zat Bertoksisitas Tinggi*

Pastikan prosedur tanggap darurat, perangkat tumpahan, dan perangkat tanggap darurat mencakup zat sangat beracun. Latih semua pegawai laboratorium dalam penggunaan yang tepat. Perangkat tumpahan untuk zat beracun harus ditandai, disimpan, dan disegel untuk menghindari kontaminasi dan membuatnya mudah diakses dalam keadaan darurat. Konten penting meliputi penyerap pengendali tumpahan, penutup permukaan yang tidak dapat ditembus (untuk mencegah penyebaran kontaminasi saat melakukan langkah tanggap darurat), tanda peringatan, pembatas darurat, persediaan pertolongan pertama, dan penawar racun.

Lakukan eksperimen dengan bahan kimia sangat beracun di daerah kerja yang dirancang untuk mengamankan pelepasan secara tidak disengaja. Gunakan baki dan jenis perangkat pengaman sekunder lainnya untuk menampung tumpahan yang tidak disengaja. Lakukan teknik secara hati-hati untuk mengurangi risiko tumpahan dan pelepasan.

Pasang semua informasi toksisitas dan tanggap darurat *di luar* area terdekat sehingga dapat diakses dalam keadaan darurat. Latih semua pegawai laboratorium yang dapat terpapar tentang cara menanggulangi keadaan darurat semacam itu. Sesekali lakukan latihan tanggap darurat. Latihan semacam itu mungkin melibatkan pegawai kesehatan sekaligus kru pembersihan darurat.

9.3.7.4 *Pembersihan Tumpahan*

Prosedur tertentu untuk membersihkan tumpahan berbeda-beda tergantung lokasi kecelakaan, jumlah dan bahaya bahan yang tumpah, serta pelatihan orang yang terlibat. Lakukan pembersihan apa pun dengan mengenakan PPE yang tepat dan sesuai dengan prosedur lembaga. Di bawah ini panduan untuk membersihkan beberapa tumpahan tidak sengaja dan tidak darurat.



Gunakan penyerap lembam untuk membersihkan tumpahan bahan kimia tetapi pastikan menetralkan dulu dan kenakan PPE yang sesuai.

- **Bahan dengan kemudahbakaran rendah yang tidak mudah menguap atau yang memiliki toksisitas rendah.** Kategori zat berbahaya ini meliputi asam anorganik (msl., asam sulfat dan nitrat) dan basa tajam (msl., natrium dan kalium hidroksida). Untuk membersihkan, kenakan PPE yang tepat, termasuk sarung tangan, kaca mata percikan bahan kimia, dan pelapis sepatu bila perlu. Netralkan bahan kimia yang tumpah dengan bahan seperti natrium bisulfat (untuk alkali) dan natrium karbonat atau bikarbonat (untuk asam), lalu serap ke bahan lembam seperti vermikulit, kumpulkan dengan sekop, dan buang dengan tepat.
- **Cairan yang mudah terbakar.** Tindakan cepat sangat penting saat pelarut yang mudah terbakar dan memiliki toksisitas relatif rendah tumpah. Kategori ini meliputi eter petrolium, pentana, dietil eter, dimetoksietana, dan tetrahidrofuran. Peringatkan pegawai lainnya di laborarotium, padamkan semua api, dan matikan semua peralatan yang menghasilkan percikan api. Dalam beberapa kasus, matikan daya ke laboratorium dengan pemutus arus, tetapi menjaga sistem ventilasi tetap berjalan. Serap pelarut yang tumpah dengan penyerap tumpahan atau bantal tumpahan sesegera mungkin. Jika hal ini tidak dapat dilakukan dengan cepat, pertimbangkan untuk mengevakuasi laboratorium. Segel penyerap dan bantal yang telah digunakan dalam wadah dan buang dengan benar. Gunakan alat tanpa percikan saat membersihkan.
- **Zat sangat beracun.** Jangan mencoba membersihkan zat sangat beracun sendirian. Beri tahu lembaga tanggap darurat, dan hubungi petugas keselamatan dan keamanan kimia laboratorium (CSSO) atau manajer laboratorium untuk meminta bantuan dalam mengevaluasi bahaya yang terlibat. Para ahli ini akan mengetahui cara membersihkan bahan tersebut.

- **Manajemen puing.** Tangani puing dari pembersihan sebagai sampah berbahaya jika bahan yang tumpah tergolong dalam kategori itu.

9.3.7.5 *Menangani Tumpahan Merkuri Unsur*

Jika tumpah di laboratorium, merkuri dapat terjebak di bawah tegel lantai, di bawah kabinet, dan bahkan di antara dinding. Bahkan pada tingkat sangat rendah, paparan merkuri secara kronis dapat menjadi risiko serius, terutama di fasilitas laboratorium lama yang memungkinkan terjadinya berbagai tumpahan. Gunakan spektrofotometer penyerapan atomik portabel dengan sensitivitas paling sedikit 2 ng/m^3 untuk menemukan residu dan reservoir merkuri dari tumpahan laboratorium untuk survei kebersihan akhir. Ikuti panduan umum berikut untuk menangani tumpahan merkuri unsur yang tidak disengaja dan tidak darurat:

1. Pertama, isolasi area tumpahan. Jaga agar orang lain tidak melintasi dan menyebarkan kontaminasi.
2. Kenakan sarung tangan pelindung saat melakukan kegiatan pembersihan.
3. Kumpulkan tetesan pada handuk basah, yang menggabungkan tetesan kecil menjadi jumlah lebih besar, atau dengan selotip. Jangan menggunakan belerang. Praktik ini tidak efektif, dan limbahnya menimbulkan masalah pembuangan.
4. Gabungkan tetesan-tetesan besar dengan skraper atau selembar karton.
5. Gunakan spons pembersih tumpahan merkuri yang dijual bebas dan perangkat pengendali tumpahan.
6. Gunakan vacuum cleaner merkuri yang dirancang secara khusus dan memiliki perangkap pengumpul dan filter khusus untuk mencegah pelepasan uap merkuri. Jangan menggunakan vacuum cleaner standar untuk mengambil merkuri.
7. Letakkan merkuri limbah dalam botol polietilena dengan dinding tebal dan kepadatan tinggi dan pindahkan ke penyimpanan pusat untuk direklamasi.
8. Hilangkan kontaminasi dari permukaan dan lantai kerja yang terpapar dengan menggunakan perangkat dekontaminasi yang sesuai.
9. Pastikan dekontaminasi hingga standar saat ini dengan menggunakan spektrometer penyerapan atomik yang diuraikan di atas.

Cegah tumpahan merkuri dengan menggunakan persediaan dan peralatan yang tidak mengandung merkuri.

9.3.7.6 *Menanggulangi Kebakaran*

Kebakaran adalah salah satu jenis kecelakaan laboratorium yang paling sering terjadi. Semua pegawai harus memahami panduan umum di bawah ini untuk mencegah dan mengurangi cedera dan kerusakan karena kebakaran.

1. Pastikan semua pegawai laboratorium mengetahui lokasi pemadam api di laboratorium, jenis kebakaran yang dapat diatasi, dan cara mengoperasikannya dengan benar. Pastikan juga bahwa mereka mengetahui lokasi stasiun tarik alarm kebakaran, pancuran keselamatan, dan selimut darurat.
2. Jika terjadi kebakaran, segera beri tahu lembaga tanggap darurat dengan mengaktifkan alarm kebakaran terdekat.
3. Percobaan memadamkan api hanya diperbolehkan jika Anda terlatih menggunakan jenis pemadam yang tepat, dapat berhasil melakukannya dengan cepat, dan berada di antara api dan jalan keluar agar tidak terjebak. Jangan meremehkan bahayanya. Jika ragu, segera evakuasi, jangan mencoba memadamkan apinya.
4. Padamkan api dalam bejana kecil dengan menutup bejana dengan longgar. Jangan mengambil labu atau wadah bahan yang sangat panas.
5. Padamkan kebakaran kecil yang melibatkan logam reaktif dan senyawa organometalik (msl., magnesium, natrium, kalium, logam hidrida) menggunakan pemadam khusus atau dengan menutupinya dengan pasir kering. Terapkan metode pemampatan api tambahan jika pelarut atau bahan yang mudah terbakar terlibat. Karena kebakaran ini sangat sulit dipadamkan, bunyikan alarm kebakaran sebelum mencoba memadamkan api.
6. Jika terjadi kebakaran yang lebih serius, evakuasi laboratorium dan aktifkan alarm kebakaran terdekat. Beritahukan zat berbahaya yang terdapat di dalam laboratorium kepada lembaga tanggap darurat.



Pakaian dan rambut panjang yang dibiarkan tidak aman dapat terkena api dan terkontaminasi. Jauhkan material lepas dari peralatan dan proses.

7. Jika pakaian seseorang terkena api, segera masukkan dia ke pancuran keselamatan. Teknik jatuhkan-dan-gulung juga efektif. Gunakan selimut api sebagai jalan terakhir karena cenderung menahan panas dan meningkatkan keparahan luka bakar dengan menciptakan efek seperti cerobong asap. Lepaskan pakaian yang terkontaminasi dengan cepat. Balut korban cedera dengan selimut untuk menghindari kejutan, dan dapatkan perawatan medis segera.

9.4 Bekerja dengan Zat dengan Toksisitas Tinggi

Orang yang bekerja dengan bahan kimia sangat berbahaya harus mengetahui panduan umum untuk penanganan bahan kimia secara aman di laboratorium. Tetapi, panduan ini sendiri tidak memadai jika menangani zat semacam itu. Tindakan pencegahan tambahan diperlukan untuk menyusun *beberapa lini pertahanan untuk mengurangi risiko* yang ditimbulkan oleh zat yang sangat beracun.

Perencanaan secara hati-hati harus diterapkan sebelum eksperimen apa pun yang melibatkan zat sangat berbahaya, setiap zat tersebut akan digunakan untuk pertama kalinya, atau kapan pun pengguna berpengalaman melakukan protokol baru yang meningkatkan risiko paparan secara signifikan. Perencanaan harus mencakup konsultasi dengan rekan kerja dan ahli dalam program keselamatan laboratorium lembaga. Pelajari banyak informasi yang terdapat di MSDS, literatur, serta referensi toksikologi dan keselamatan secara menyeluruh. Selalu pertimbangkan untuk menggantikan zat yang tidak begitu beracun untuk zat yang sangat beracun, dan pastikan Anda menggunakan bahan dalam jumlah sekecil mungkin. Lihat Bab 7, Bagian 4, untuk informasi lebih lanjut tentang merencanakan eksperimen dengan zat yang sangat beracun.

9.4.1 Merencanakan Eksperimen yang Melibatkan Bahan Kimia Sangat Beracun

Sebelum eksperimen dimulai, siapkan rencana yang menjelaskan tentang penjagaan tambahan yang akan digunakan untuk semua tahap eksperimen, dari mendapat hingga membuang bahan kimia. Catat jumlah bahan yang digunakan dan nama orang yang terlibat dalam rangkuman tertulis dan notebook laboratorium.

Cari tahu apakah pemantauan diperlukan untuk menjaga pelaku eksperimen tetap aman, jika ada alasan untuk meyakini bahwa tingkat paparan zat dalam eksperimen tersebut dapat melebihi tingkat keselamatan yang ditentukan.

Orang yang melakukan pekerjaan harus mengetahui tanda dan gejala paparan akut dan kronis, termasuk efek tunda. Konsultasikan dengan dokter atau ahli kesehatan lainnya untuk menentukan apakah pemeriksaan kesehatan atau pengawasan medis itu sesuai.

9.4.2 Menandai Area yang Ditentukan

Batasi prosedur eksperimen yang melibatkan bahan kimia sangat beracun ke daerah kerja yang ditunjuk di dalam laboratorium dan diketahui semua pegawai. Ini mencakup pemindahannya dari wadah penyimpanan ke bejana reaksi. Pasang tanda dengan jelas untuk menandai area yang ditentukan. Area ini dapat digunakan untuk tujuan lain, selama seluruh pegawai laboratorium mematuhi persyaratan pelatihan, keselamatan, dan keamanan, dan mereka memahami protokol tanggap darurat dari lembaga.

Dalam konsultasi dengan CSSO, supervisor laboratorium harus menentukan prosedur dan bahan kimia sangat beracun yang perlu dibatasi pada area yang ditunjuk.

9.4.3 Mengendalikan Akses

Untuk laboratorium tempat bahan kimia yang sangat beracun digunakan, batasi akses untuk orang yang berwenang atas pekerjaan laboratorium ini dan dilatih dalam tindakan pencegahan khusus yang berlaku. Lihat Bab 6 untuk prosedur yang digunakan untuk mengendalikan akses ke zat yang sangat beracun.

Jika eksperimen jangka panjang yang melibatkan senyawa sangat beracun memerlukan operasi tanpa penjagaan, sertakan pilihan cadangan gagal aman, misalnya perangkat pematian, untuk berjaga-jaga seandainya terjadi kelebihan panas reaksi atau peningkatan tekanan. Selain itu, sertakan interlock peralatan yang mematikan eksperimen dengan mematikan perangkat seperti rendaman panas, pompa reagen, katup solenoid, atau tudung kimia laboratorium. Interlock akan menempatkan eksperimen dalam mode lebih aman jika terjadi masalah dan tidak akan reset meski kondisi berbahaya dibalik.

Perangkat pelindung harus disertai alarm yang menandai aktivasinya. Jangan pernah bertanya atau membiarkan penjaga keamanan dan pegawai tidak terlatih memeriksa status eksperimen yang tidak dijaga yang melibatkan bahan yang sangat beracun. Pasang tanda peringatan pada pintu terkunci yang mencantumkan pegawai laboratorium yang harus dihubungi jika alarm di laboratorium berbunyi.

Catat inventaris bahan kimia sangat beracun secara terperinci. Baca Bab 8 untuk rincian lebih lanjut tentang menyimpan inventaris.

9.4.4 Meminimalkan Paparan ke Bahan Kimia Sangat Beracun

Berikut ini adalah tindakan pencegahan yang perlu dilakukan dan mendorong keselamatan dalam pekerjaan laboratorium dengan bahan kimia sangat beracun.

1. Lakukan prosedur yang melibatkan bahan kimia sangat beracun yang dapat menghasilkan debu, uap, atau aerosol dalam tudung kimia laboratorium, kotak sarung tangan, atau perangkat pengaman lainnya yang sesuai.
2. Kenakan sarung tangan saat bekerja dengan cairan atau zat padat beracun untuk melindungi tangan dan lengan bawah.

3. Kenakan pelindung wajah dan mata untuk mencegah pencernaan, penghirupan, dan penyerapan bahan kimia beracun melalui kulit.
4. Isolasi peralatan yang digunakan dalam menangani bahan kimia sangat beracun dari laboratorium umum. Pertimbangkan untuk menganginanginkan pompa vakum laboratorium yang digunakan dengan zat ini melalui sikat efisiensi tinggi atau tudung pembuangan. Pompa vakum yang digerakkan dengan motor dianjurkan karena mudah untuk didekontaminasi (lakukan dekontaminasi di tudung yang ditunjuk).
5. Selalu terapkan kebersihan laboratorium yang baik di tempat yang digunakan untuk menangani bahan kimia sangat beracun. Setelah menggunakan bahan beracun, cuci muka, tangan, leher, dan lengan. Jangan menyingkirkan peralatan yang disediakan untuk menangani bahan beracun, termasuk PPE seperti sarung tangan, dari lingkungan tanpa dekontaminasi lengkap. Pilih peralatan laboratorium dan peralatan dari kaca yang mudah dibersihkan dan didekontaminasi. Jangan sekalikali mencium atau mengecap campuran yang mengandung bahan kimia beracun atau zat dengan toksisitas tidak diketahui.
6. Rencanakan pengangkutan bahan kimia sangat beracun dengan sangat hati-hati. Untuk informasi lebih lanjut tentang mengangkut zat ini, lihat Bab 8.

Baca Bab 10 untuk informasi lebih lanjut tentang PPE. Lihat Bab 5 untuk informasi lebih lanjut tentang tudung laboratorium, kotak sarung tangan, dan pompa vakum.

9.4.5 Penyimpanan dan Pembuangan Limbah

Ikuti praktik selamat dan aman untuk penyimpanan dan pembuangan bahan kimia sangat beracun. Beri label semua wadah bahan kimia sangat beracun dengan mencantumkan komposisi kimia, bahaya yang diketahui, dan peringatan penanganannya. Simpan bahan kimia ini dengan baik di area yang dirancang secara khusus.

Ikuti prosedur lembaga untuk pembuangan limbah. Atau, pertimbangkan kemungkinan perlakuan awal pada limbah baik sebelum atau selama pengolahan. Penghancuran dalam laboratorium mungkin merupakan cara paling aman dan efektif untuk menangani limbah, tetapi persyaratan peraturan mungkin mempengaruhi keputusan ini.

Lihat Bab 8, Bagian 5.6., untuk informasi lebih lanjut tentang penyimpanan zat ini. Lihat Bab 11, Bagian 3 dan 5, untuk informasi lebih lanjut tentang pembuangan limbah kimia sangat beracun.

9.5 Bekerja dengan Bahan Berbahaya Hayati

Gunakan bahan biologis dengan tindakan pencegahan umum yang sama dengan bahan kimia berbahaya. Lakukan tindakan tambahan berikut untuk mengurangi risiko saat menangani agen penular.

1. Hilangkan atau bekerjalah sangat hati-hati dengan benda tajam (seperti jarum, pisau bedah, pipet Pasteur, dan tabung kapiler).
2. Bekerjalan dengan hati-hati untuk mengurangi potensi pembentukan aerosol. Batasi aerosol sedekat mungkin ke sumbernya dengan lemari biokeselamatan.
3. Bebaskan permukaan dan peralatan kerja dari infeksi setelah digunakan.
4. Cuci tangan setelah melepas pakaian pelindung, setelah kontak dengan bahan yang terkontaminasi, dan sebelum meninggalkan laboratorium.

Praktik lainnya yang paling bermanfaat untuk mencegah infeksi atau yang didapat di laboratorium atau keracunan sebagi berikut:

1. Jaga pintu laboratorium tetap tertutup saat eksperimen sedang berlangsung.
2. Gunakan perangkat pengaman sekunder anti bocor untuk untuk memindah atau mentransfer kultur.
3. Dekontaminasi limbah penular sebelum dibuang.

9.6 Bekerja dengan Bahan Kimia yang Mudah Terbakar

Semua pegawai laboratorium harus mengetahui sifat bahan kimia yang mereka tangani dan memiliki pemahaman mendasar tentang bagaimana kondisi laboratorium mungkin mempengaruhi sifat ini. MSDS atau sumber informasi lainnya harus dijadikan acuan untuk informasi seperti tekanan uap, titik nyala, dan ambang ledak di udara. Lihat Bab 7 untuk panduan lebih lanjut tentang menilai kemudahbakaran bahan kimia.

Ikuti praktik umum untuk bekerja dengan bahan kimia mudah terbakar:

1. Gunakan jumlah sekecil mungkin.
2. Sebanyak mungkin, kurangi atau hilangkan adanya bahan mudah terbakar dan pengoksidasi, misalnya udara. Tutup botol dan bejana yang tidak digunakan. Gunakan selimut gas lembam bila memungkinkan.
3. Simpan bahan kimia dengan baik, dengan secara fisik memisahkan bahan mudah terbakar dari operasi dan sumber penyulutan lainnya.
4. Simpan zat mudah terbakar yang memerlukan penyimpanan suhu rendah hanya di lemari es yang dirancang untuk tujuan tersebut. Jangan menggunakan lemari es biasa untuk menyimpan bahan kimia.

5. Hilangkan sumber penyulutan dari area tempat zat mudah terbakar ditangani. Sumber ini meliputi pembakar Bunsen; korek; tembakau rokok; kompor gas; peralatan pemanas ruang atau pemanas air dengan bahan bakar gas; peralatan listrik seperti perangkat pengaduk, motor, relai, dan saklar; dan sumber penyalaan tingkat rendah, seperti pinggan panas, listrik statis dari pakaian, saluran uap, atau sumber panas lainnya.
6. Jangan memanaskan zat yang mudah terbakar dengan api terbuka. Sumber panas yang dianjurkan antara lain rendaman uap, rendaman air, rendaman oli dan lilin, rendaman garam dan pasir, mantel pemanas, dan rencaman udara panas atau nitrogen.
7. Sebelum menyulut api, periksa keberadaan zat yang mudah terbakar.
8. Hubungkan sumber penyalaan statis ke saluran pentanahan dengan baik, dan gunakan alternatif paling tidak berbahaya yang tersedia.
9. Hubungkan arus listrik statis terakumulasi ke tanah saat memindahkan cairan mudah terbakar dalam wadah logam untuk menghindari percikan.
10. Selalu perhatikan peralatan seperti pinggan panas, rendaman oli, mantel pemanas, bejana, oven, pengering, dan perangkat pemanas lainnya saat beroperasi. Saat membeli perangkat ini, pilih model dengan pematian suhu tinggi otomatis.
11. Jaga agar peralatan pemadaman api yang tepat siap digunakan.



Dalam mantel pemanas, elemen pemanas diinsulasi dari wadah kaca, sehingga mengurangi risiko menyulut zat yang mudah terbakar.

9.6.1 Bekerja dengan Cairan Mudah Terbakar

Ikuti prosedur berikut untuk bekerja dengan cairan mudah terbakar:

1. Hindari membuat konsentrasi uap yang mudah terbakar.
2. Jaga wadah cairan yang mudah terbakar tetap tertutup kecuali selama pemindahan isi.
3. Larutkan uap yang mudah terbakar dengan ventilasi untuk menghindari konsentrasi yang mudah terbakar. Gunakan pembuangan yang tepat dan aman setiap zat mudah terbakar dipindahkan dalam jumlah besar dari satu wadah ke wadah lain, dibiarkan bertahan dalam wadah terbuka, dipanaskan dalam wadah terbuka, atau ditangani secara lain.

4. Lakukan pemindahan hanya dalam tudung kimia laboratorium atau di area lainnya yang memiliki ventilasi memadai untuk menghindari peningkatan konsentrasi uap yang mudah terbakar.
5. Saat menggunakan teknik pelarutan, pastikan peralatan seperti kipas tahan ledakan dan item yang menimbulkan percikan diletakkan di luar arus udara.
6. Hubungkan saluran dan bejana logam yang mengeluarkan cairan yang mudah terbakar ke tanah dengan benar untuk menyebar listrik statis. Misalnya, saat memindahkan cairan yang mudah terbakar dalam peralatan logam, hindari percikan api yang ditimbulkan oleh listrik statis dengan menghubungkannya ke saluran pentanahan dan menggunakan kawat pentanahan. Pengembangan listrik statis sangat terkait dengan tingkat kelembapan dan dapat menjadi masalah di hari musim dingin yang dingin dan kering. Jika wadah nonlogam (terutama plastik) digunakan, hubungan dengan perangkat pentanahan harus dibuat secara langsung ke cairan, bukan ke wadahnya. Dalam keadaan yang jarang terjadi dimana listrik statis tidak dapat dihindari, lakukan semua proses selambat mungkin atau tangani dalam atmosfer lembam untuk memberi waktu agar arus yang terakumulasi menyebar.

9.6.2 Bekerja dengan Gas yang Mudah Terbakar

Kebocoran atau keluarnya gas yang mudah terbakar dapat menghasilkan atmosfer eksplosif di laboratorium. Asetilen, hidrogen, amonia, hidrogen sulfida, propana, dan karbon monoksida sangat berbahaya. Asetilen, metana, dan hidrogen memiliki beragam konsentrasi yang memungkinkan bahan ini menjadi mudah terbakar (ambang kemudahbakaran), sehingga sangat meningkatkan potensi bahaya kebakaran dan ledakannya. Pasang penangkal nyala api pada tabung hidrogen. Sebelum memasukkan gas yang mudah terbakar ke bejana reaksi, murnikan peralatan dengan evakuasi atau dengan gas lembam. Ulangi siklus pembuangan tiga kali untuk mengurangi residu oksigen hingga sekitar 1%.

9.7 Bekerja dengan Bahan Kimia yang Sangat Reaktif atau Mudah Meledak

Bahan sangat reaktif dan mudah meledak yang digunakan di laboratorium memerlukan prosedur yang tepat. Informasi lebih lanjut tentang menilai risiko bahan kimia yang sangat reaktif atau mudah meledak terdapat di Bab 7.

Ikuti langkah berikut untuk menghindari kecelakaan serius saat bahan yang sangat reaktif digunakan:

1. Gunakan bahan kimia berbahaya dalam jumlah minimal dengan perlindungan dan pelindung diri memadai.

2. Siapkan peralatan darurat.
3. Rakit semua peranti sedemikian rupa sehingga jika reaksi mulai berjalan di luar kendali, pelepasan sumber panas, pendinginan bejana reaksi, penghentian penambahan reagen, dan penutupan pintu geser tudung kimia laboratorium dapat dilakukan dengan segera. Pelindung ledakan plastik transparan yang tebal harus digunakan untuk membeli perlindungan ekstra selain jendela tudung kimia.
4. Jika reaksi berjalan di luar rencana, batasi akses ke area hingga reaksi dapat dikendalikan. Pertimbangkan kendali pengoperasian jarak jauh.
5. Beri pendinginan dan permukaan cukup untuk pertukaran panas sehingga memungkinkan pengendalian reaksi. Bahan kimia yang sangat reaktif memicu reaksi dengan kecepatan yang meningkat sangat cepat seiring meningkatnya suhu. Jika panas yang dihasilkan tidak dihilangkan, kecepatan reaksi meningkat hingga terjadi ledakan. Hal ini sangat menjadi masalah saat meningkatkan skala eksperimen.
6. Hindari konsentrasi larutan berlebih, terutama saat reaksi dicoba atau dinaikkan skalanya untuk pertama kali. Beri perhatian secara khusus pada tingkat penambahan reagen terhadap tingkat konsumsinya, terutama jika reaksi dipengaruhi periode induksi.
7. Ikuti prosedur penyimpanan, penanganan, dan pembuangan khusus untuk reaksi skala besar dengan reagen organometalik dan reaksi yang menghasilkan bahan mudah terbakar atau dilakukan dalam pelarut yang mudah terbakar. Jika terdapat logam aktif, gunakan pemadam api dengan bahan pemadam khusus seperti bubuk berbahan dasar grafit dengan dicampur pemlastis atau bubuk berbahan dasar natrium klorida.
8. Hindari penguraian lambat pada skala besar jika pemindahan panas tidak memadai atau jika panas dan gas yang berkembang dibatasi. Penguraian beberapa zat yang diawali dengan panas, seperti peroksida tertentu, hampir terjadi secara instan. Khususnya, reaksi yang terpengaruh periode induksi dapat berbahaya karena tidak ada indikasi awal risiko. Kendati demikian, proses hebat dapat terjadi setelah induksi.
9. Lakukan penentuan suhu eksotermik mula-mula dengan kalorimeter skala besar dan lakukan uji berat untuk reaksi yang skalanya dinaikkan dan eksotermik pada suhu rendah atau mengembangkan panas dalam jumlah besar yang dapat menimbulkan bahaya. Dalam situasi dimana evaluasi bahaya operasional formal atau data andal dari sumber apa pun lainnya menunjukkan bahaya, lakukan review kelompok berpengalaman

atau ubah kondisi yang skalanya dinaikkan untuk menghindari kemungkinan bahwa seseorang mungkin melewatkan bahaya atau perubahan prosedur yang paling sesuai.

10. Hindari menyebabkan ledakan fisik dari tindakan seperti menyebabkan cairan panas mengalami kontak mendadak dengan cairan dengan titik didih lebih rendah atau menambahkan air ke cairan panas pada rendaman pemanas. Ledakan juga dapat terjadi saat memanaskan bahan kriogenik dalam wadah tertutup atau memberi tekanan berlebih pada peralatan dari kaca dengan nitrogen (N_2) atau argon saat regulator diatur dengan tidak tepat. Ledakan fisik hebat juga terjadi jika sekumpulan partikel sangat panas dituangkan secara tiba-tiba ke air.

9.7.1 Bekerja dengan Senyawa Reaktif atau Eksplosif

Adakalanya, diperlukan penanganan bahan yang dikenal bersifat eksplosif atau yang mungkin berisi pencemar eksplosif seperti peroksida. Bahan kimia eksplosif harus diperlakukan dengan sangat hati-hati. Bekerja dengan bahan eksplosif (atau berpotensi eksplosif) biasanya memerlukan penggunaan pakaian pelindung, seperti pelindung wajah, sarung tangan, dan jas laboratorium. Gunakan juga perangkat pelindung seperti pelindung ledakan, halangan, atau bahkan barikade tertutup atau ruang isolasi dengan atap atau jendela ledakan.

Sebelum melakukan pekerjaan dengan bahan berpotensi eksklusif, diskusikan eksperimen dengan supervisor laboratorium atau rekan kerja berpengalaman. Bacalah literatur terkait dan lakukan penilaian risiko.

Periksa peraturan setempat dan internasional yang mengatur pengangkutan dan penggunaan bahan eksplosif. Bawa bahan eksplosif ke laboratorium hanya sesuai kebutuhan dan dalam jumlah kecil yang cukup untuk eksperimen tersebut. Kurangi penanganan langsung dan pisahkan bahan eksplosif dari bahan lainnya yang dapat menimbulkan risiko serius pada nyawa atau properti jika terjadi kecelakaan.

9.7.1.1 *Menggunakan Perangkat Pelindung*

Gunakan penghalang seperti pelindung, barikade, dan penjaga untuk melindungi pegawai dan peralatan dari cedera dan kerusakan karena ledakan atau kebakaran.

Penghalang harus sepenuhnya mengelilingi semua area berbahaya. Pada bangku atau tudung kimia laboratorium, pasang pelindung geser akrilik setebal 0,25 inci (0,6 cm), dan disekrup sekaligus dilem. Pelindung ini secara efektif dapat melindungi pegawai laboratorium terlatih dari pecahan kaca dalam ledakan skala laboratorium. Pelindung harus tersedia setiap kali reaksi berbahaya sedang berlangsung atau kapan pun bahan berbahaya disimpan sementara. Tetapi, perlindungan semacam itu tidak efektif terhadap pecahan logam.

Pintu geser tudung hanya memberi perlindungan keselamatan terhadap percikan atau semprotan bahan kimia, kebakaran, dan ledakan kecil. Jika dilakukan lebih dari satu reaksi berbahaya, reaksi harus dilindungi dari satu sama lain dan dipisahkan sejauh mungkin.

Saat menangani bahan berpotensi mudah meledak yang dapat terpicu dalam atmosfer lembam, pasang kotak kering dengan jendela kaca keselamatan yang dilapisi dengan akrilik setebal 0,25 inci (0,6 cm). Perlindungan ini memadai terhadap sebagian besar ledakan 5-g internal. Kenakan sarung tangan pelindung di atas sarung tangan kotak kering karet untuk memberi perlindungan tambahan. Gunakan perangkat keselamatan lain dengan sarung tangan yang memungkinkan manipulasi dari jarak jauh. Saluran pentanahan yang memadai penting untuk mencegah terpicunya bahan mudah meledak karena percikan listrik statis dalam kotak kering. Gunakan juga senapan anti listrik statis atau pengion anti listrik statis.

Untuk melindungi terhadap detonasi kurang dari batas 20-g yang dapat diterima, gunakan tudung kimia laboratorium berpelindung atau yang diperkuat atau barikade yang dibuat dengan pelindung resin polivinilbutiral tebal (1,0 inci, atau 2,54 cm) dan dinding logam berat. Penghalang ini biasanya dirancang untuk menahan ledakan 100-g, tetapi batas maksimal 20 biasanya diizinkan karena suara yang akan dihasilkan jika terjadi ledakan. Tudung kimia semacam itu harus dilengkapi dengan tangan mekanik yang memungkinkan pegawai mengoperasikan peralatan dan menangani wadah di dalam tudung dari jarak jauh.

Gunakan berbagai perangkat pelindung, seperti tang dengan gagang pendek maupun panjang, untuk menangani atau memanipulasi item berbahaya pada jarak yang aman. Gunakan juga peralatan kendali jarak jauh, seperti lengan mekanik, penggerak keran utama, penggerak labjack, pengendali kabel jarak jauh, dan monitor televisi rangkaian tertutup (cctv).

9.7.1.2 *Menggunakan Peralatan Pelindung Diri*

Gunakan PPE berikut saat menangani bahan yang mudah meledak:

- kaca keselamatan yang memiliki pelindung sisi kokoh atau kaca mata pelindung percikan bahan kimia;
- pelindung panjang penuh yang sepenuhnya melindungi wajah dan tenggorokan (beri perhatian khusus saat mengoperasikan atau memanipulasi sistem sintesis yang mungkin berisi bahan mudah meledak, seperti diazometana, saat pelindung bangku dipindahkan ke samping, dan saat menangani atau mengangkut sistem semacam itu);
- sarung tangan kulit berat untuk menjangkau di belakang area terlindung saat eksperimen berbahaya sedang berlangsung atau saat menangani senyawa reaktif atau reaktan yang mengandung gas; dan
- jas laboratorium yang terbuat dari bahan tahan api dan mudah dilepas.

9.7.1.3 *Mengevaluasi Bahan Berpotensi Reaktif*

Selalu evaluasi bahan berpotensi reaktif untuk mengetahui kemungkinan sifat kemudahledakannya dengan membaca literatur dan mempertimbangkan struktur molekulnya. Ada tiga cara untuk menentukan sensitivitas senyawa yang sangat mudah meledak:

1. uji tetesan menggunakan suara yang direkam, yang tidak selalu memuaskan sepenuhnya;
2. uji elektrostatis; dan
3. penggunaan gesekan yang dihasilkan dengan menggerinda dua permukaan porselen secara bersamaan dengan beban.

Bahan kimia yang sangat reaktif harus dipisahkan dari bahan yang mungkin berinteraksi dengannya dan menimbulkan risiko ledakan. Bahan ini tidak boleh digunakan setelah tanggal kedaluwarsa.

9.7.1.4 *Menentukan Kuantitas Reaksi*

Saat menangani bahan kimia yang sangat reaktif, gunakan jumlah terkecil yang diperlukan untuk eksperimen. Dalam laboratorium bahan mudah meledak konvensional, tidak lebih dari 0,1 g produk yang boleh disiapkan dalam satu kali eksperimen. Selama periode reaksi sebenarnya, reaktan yang ada di bejana reaksi tidak boleh lebih dari 0,5 g. Pertimbangkan pelarut, substrat, dan reaktan energetik saat menentukan daya ledak total campuran reaksi. Lakukan penilaian risiko formal khusus untuk memeriksa masalah operasional dan keselamatan yang terlibat dalam meningkatkan skala reaksi yang menggunakan atau mungkin membentuk zat yang mudah meledak.

9.7.1.5 *Melakukan Operasi Reaksi*

Jika bahan yang berpotensi mudah meledak digunakan, pasang tanda peringatan di area:

PERINGATAN: Kosongkan area pada indikasi pertama *[indikator kasus spesifik]* dan keluarlah.

HUBUNGI: *[orang yang bertanggung jawab]* di nomor [nomor telepon]

PERHATIAN: Jangan masuk—risiko ledakan.



Lihat *Tanda* pada Toolkit yang disertakan atau contoh tanda peringatan.

Gunakan perangkat pemanas sedemikian rupa sehingga jika terjadi ledakan, media pemanas akan terlindung. Rendaman pemanas harus terdiri dari bahan yang

tidak mudah terbakar. Semua kendali peralatan pemanas dan pengadukan harus dapat dioperasikan dari luar area terlindung.

Pompa vakum harus memiliki label yang menunjukkan tanggal penggantian oli terakhir. Ganti oli sekali sebulan atau lebih cepat jika diketahui oli terpapar ke gas reaktif. Perangkap semua pompa atau keluarkan udaranya ke tudung. Saluran ventilasi dapat terbuat dari Tygon, karet, atau tembaga. Jika saluran Tygon atau karet digunakan, dukung agar tidak menggantung dan menampung cairan yang dipadatkan.

Saat memadatkan gas yang mudah meledak, tentukan suhu rendaman dan efeknya pada gas reaktan bahan kondensasi yang dipilih. Gunakan jumlah sangat kecil karena dapat terjadi ledakan. Selalu gunakan labu Dewar yang dikencangkan dengan pita dan terilndung saat memadatkan reaktan. Amati batas kuantitas maksimal. Gunakan nitrogen cair untuk gas reaktif, jangan gunakan rendaman pelarut es kering.

9.7.2 Bekerja dengan Peroksida Organik

Peroksida organik adalah kelas senyawa khusus dengan stabilitas sangat rendah sehingga tergolong dalam zat paling berbahaya yang biasanya ditangani di laboratorium, terutama sebagai inisiator untuk reaksi radikal bebas. Meski merupakan bahan eksplosif yang berdaya rendah, senyawa ini berbahaya karena kepekaannya yang ekstrem terhadap guncangan, percikan, dan bentuk detonasi tidak disengaja lainnya. Banyak peroksida yang digunakan secara rutin di laboratorium jauh lebih sensitif terhadap guncangan dibanding bahan peledak primer (msl., TNT), meski banyak di antaranya yang telah distabilkan dengan penambahan senyawa yang menghambat reaksi. Kendati demikian, bahkan penguraian tingkat rendah dapat mempercepat dan menyebabkan ledakan dahsyat secara otomatis, terutama untuk peroksida dalam jumlah besar (msl., benzoil peroksida). Senyawa ini peka terhadap panas, gesekan, benturan, dan cahaya, juga bahan pengoksidasi dan pereduksi kuat. Semua peroksida organik sangat mudah terbakar, dan kebakaran yang melibatkan peroksida dalam jumlah besar harus ditangani dengan perhatian ekstrem.

Tindakan pencegahan untuk menangani peroksida antara lain:

1. Membatasi jumlah peroksida hingga jumlah minimal yang diperlukan. Jangan mengembalikan peroksida yang tidak digunakan ke dalam wadah.
2. Segera bersihkan tumpahan. Serap larutan peroksida pada vermikulit atau bahan penyerap lainnya dan buang menurut prosedur organisasi.
3. Kurangi sensitivitas sebagian besar peroksida terhadap kejutan dan panas dengan melarutkannya dengan pelarut lembam, seperti hidrokarbon alifatik. Tetapi, jangan menggunakan bahan aromatik (seperti toluena), yang dikenal menyebabkan penguraian diasil peroksida.

4. Jangan menggunakan larutan peroksida dalam pelarut yang mudah menguap dalam kondisi yang memungkinkan pelarut menguap, karena hal ini akan meningkatkan konsentrasi peroksida dalam larutan.
5. Jangan menggunakan spatula logam untuk menangani peroksida karena kontaminasi oleh logam dapat menyebabkan penguraian bahan eksplosif. Bilah pengaduk magnetik dapat menghasilkan besi secara tidak sengaja, sehingga dapat memulai reaksi ledakan peroksida. Keramik, Teflon, atau spatula dan bilah pengaduk dari kayu dapat digunakan jika diketahui bahan tersebut tidak peka terhadap guncangan.
6. Jangan mengizinkan rokok, api terbuka, dan sumber panas lainnya di dekat peroksida. Penting untuk memberi label area yang mengandung peroksida sehingga bahaya ini menjadi jelas.
7. Hindari gesekan, tekanan, dan segala bentuk benturan di dekat peroksida, terutama peroksida padat. Jangan menggunakan wadah kaca yang memiliki tutup berulir atau sumbat kaca. Gunakan botol polietilena yang memiliki tutup berulir.
8. Untuk meminimalkan tingkat penguraian, simpan peroksida pada suhu terendah sesuai titik larut atau titik bekunya. Jangan menyimpan peroksida cair atau larutan pada suhu lebih rendah dari titik beku atau presipitasinya. Peroksida dalam bentuk ini sangat sensitif terhadap guncangan dan panas.

9.7.3 Bekerja dengan Senyawa yang Dapat Diubah Menjadi Peroksida

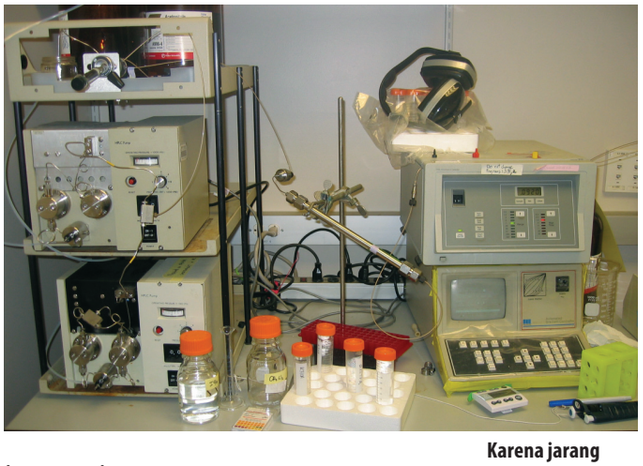
Bahan kimia laboratorium tertentu membentuk peroksida karena terpapar oksigen di udara. Dari waktu ke waktu, beberapa bahan kimia terus membangun peroksida hingga tingkat yang berpotensi bahaya. Bahan kimia lainnya mengakumulasikan konsentrasi peroksida dengan keseimbangan yang relatif rendah, yang menjadi berbahaya hanya jika dipekatkan melalui proses evaporasi atau distilasi. Peroksida menjadi pekat karena kurang mudah menguap dibanding bahan kimia induknya.

Keluarkan oksigen dengan menyimpan pembentuk peroksida potensial dalam atmosfer lembam (N_2 atau argon) untuk meningkatkan masa penyimpanannya yang aman. Membeli bahan kimia yang disimpan di bawah nitrogen dalam botol bertutup septum juga dapat dilakukan. Dalam beberapa kasus, penstabil atau penghambat (penangkap radikal bebas yang menghentikan reaksi berantai) ditambahkan ke cairan untuk memperpanjang masa penyimpanannya. Karena distilasi cairan yang distabilkan menghilangkan penstabil, distilat harus disimpan dengan hati-hati dan dipantau untuk pembentukan peroksida. Selain itu, pelarut tingkat

kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC) umumnya tidak mengandung penstabil, dan pertimbangan yang sama berlaku untuk penanganannya.

Ikuti langkah berikut saat menangani senyawa yang dapat diubah menjadi peroksida:

1. Jika wadah zat yang dapat diubah menjadi peroksida Kelas A telah melampaui tanggal kedaluwarsanya atau jika diduga maupun terbukti terdapat peroksida, jangan mencoba membuka wadah. Senyawa ini dapat mematikan jika diubah menjadi peroksida, dan tindakan membuka sekrup tutup atau menjatuhkan botol cukup untuk memicu ledakan. Hanya para ahli yang boleh manangani wadah seperti ini. Hubungi CSSO Anda untuk mendapat bantuan.
2. Jika wadah senyawa yang dapat diubah menjadi peroksida Kelas B atau C melampaui tanggal kedaluwarsanya dan ada risiko keberadaan peroksida, buka dengan hati-hati dan buang menurut prosedur lembaga.



Karena jarang mengandung penstabil (yaitu penangkap radikal bebas), pelarut yang digunakan di HPLC memerlukan perhatian yang sama dengan senyawa yang dapat diubah menjadi peroksida.

3. Uji keberadaan peroksida jika ada kemungkinan wajar tentang keberadaannya dan tanggal kedaluwarsa belum terlewat. Uji berikut mendeteksi sebagian besar (namun, tidak semua) senyawa peroksi, termasuk semua hidroperoksida.
   - Tambahkan 1 hingga 3 mL cairan yang akan diuji ke dalam asam asetat dengan volume setara. Tambahkan beberapa tetes larutan kalium iodida akuatik 5% dan kocok. Adanya warna kuning hingga cokelat menunjukkan adanya peroksida. Atau, penambahan 1 mL larutan kalium iodida 10% yang disiapkan sesaat sebelum digunakan ke dalam 10 mL cairan organik dalam silinder kaca 25-mL, akan menghasilkan warna kuning jika terdapat peroksida.
   - Tambahkan 0,5 mL cairan yang akan diuji ke dalam campuran 1 mL larutan kalium iodida cair 10% dan 0,5 mL asam hidroklorat encer yang telah ditambahi beberapa tetes larutan kanji sesaat sebelum pengujian. Adanya warna biru atau biru-hitam dalam waktu satu menit menunjukkan adanya peroksida.

– Strip uji peroksida, yang berubah menjadi warna indikatif jika terdapat peroksida, dijual bebas. Perhatikan bahwa strip ini harus dikeringkan di udara hingga pelarut menguap, kemudian paparkan ke kelembapan untuk pengoperasian yang benar.

Tidak satu pun dari uji ini yang boleh diterapkan pada bahan yang mungkin terkontaminasi dengan peroksida anorganik, misalnya, kalium logam.

9.7.4 Bekerja dengan Reaksi Hidrogenasi

Reaksi hidrogenasi menimbulkan risiko tambahan karena seringkali dilakukan di bawah tekanan dengan katalis reaktif. Lakukan tindakan pencegahan berikut untuk tabung gas dan gas yang mudah terbakar, ditambah tindakan pencegahan tambahan untuk reaksi dengan tekanan di atas 1 atmosfer.

1. Pilih bejana tekanan yang sesuai untuk eksperimen tersebut, seperti autoklaf atau botol tekanan. Misalnya, sebagian besar hidrogenasi zat seperti alkena dilakukan secara aman dalam peranti hidrogenasi komersial yang menggunakan katalis heterogen (msl., platina dan paladium) di bawah tekanan sedang (<80 psi H_2).
2. Pelajari prosedur pengoperasian peranti, dan periksa wadah sebelum masing-masing eksperimen. Bejana reaksi kaca yang tergores atau cacat berisiko pecah jika terkena tekanan. Bejana rusak tidak boleh digunakan.
3. Jangan mengisi bejana hingga penuh dengan larutan. Mengisinya separuh atau kurang jauh lebih aman.
4. Hilangkan sebanyak mungkin oksigen dari larutan sebelum menambah hidrogen. Ini adalah salah satu tindakan pencegahan terpenting untuk dilakukan dengan reaksi apa pun yang melibatkan hidrogen. Kegagalan melakukan hal ini dapat menghasilkan campuran oksigen-hidrogen (O_2-H_2) yang eksplosif. Secara normal, oksigen di dalam bejana dihilangkan dengan cara menekan bejana dengan gas lembam (N_2 atau argon), kemudian melepaskan gas tersebut. Bila tersedia, vakum dapat diterapkan pada larutan. Ulangi prosedur pengisian gas lembam dan pelepasan gas ini beberapa kali sebelum hidrogen atau gas bertekanan tinggi lainnya dimasukkan.
5. Pertahankan tekanan di bawah ambang tekanan aman botol atau autoklaf yang ditentukan; marjin keselamatan diperlukan jika dihasilkan panas atau gas. Batas 75% dari peringkat dalam autoklaf bertekanan tinggi dianjurkan. Jika ambang terlampaui secara tidak disengaja, ganti diska yang pecah setelah eksperimen selesai.

6. Pantau perangkat bertekanan tinggi secara berkala saat pemanasan berlanjut untuk menghindari tekanan berlebih.
7. Saring paladium atau platina secara hati-hati pada karbon, platinum oksida, nikel Raney, dan katalis hidrogenasi lainnya dari campuran reaksi hidrogenasi. Katalis yang didapat biasanya jenuh terhadap hidrogen, sangat reaktif, dan menyala secara spontan jika terpapar ke udara.
8. Terutama untuk reaksi skala besar, jangan biarkan kerak tapis mengering. Letakkan corong yang berisi kerak tapis katalis yang masih lembab ke rendaman air segera setelah filtrasi selesai.
9. Gunakan nitrogen atau argon sebagai gas pemurnian untuk prosedur hidrogenasi sehingga katalis dapat disaring dan ditangani pada atmosfer lembam.



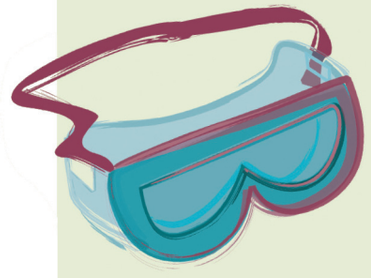
Lihat *Lampiran H.2. Bahan yang Memerlukan Perhatian Khusus Karena Bersifat Reaktif, Mudah Meledak, atau Ketidaksesuaian Bahan Kimia* **untuk informasi lebih lanjut tentang menangani bahan yang sangat reaktif atau mudah meledak.**

9.7.5 Bekerja dengan Bahan Kimia yang Tidak Sesuai

Untuk setiap bahan kimia, ikuti rekomendasi penyimpanan tertentu dalam MSDS dan referensi lainnya terkait pengamanan dan kompatibilitasnya. Jaga bahan yang tidak sesuai tetap terpisah saat pengangkutan, penyimpanan, penggunaan, dan pembuangan. Kontak dapat menyebabkan ledakan serius atau pembentukan zat yang sangat beracun atau mudah terbakar. Simpan pengoksidasi, bahan pereduksi, dan bahan bakar secara terpisah untuk mencegah kontak jika terjadi kecelakaan. Beberapa reagen menimbulkan risiko jika mengalami kontak dengan atmosfer.

10 Bekerja dengan Peralatan Laboratorium







10.1 Pendahuluan **147**

10.2 Bekerja dengan Peralatan Berdaya Listrik **147**

10.2.1 Tindakan Pencegahan Umum untuk Bekerja dengan Peralatan Listrik 147

10.2.2 Tindakan Pencegahan jika Bekerja dengan Peralatan Khusus 149

10.3 Bekerja dengan Gas Mampat **149**

10.3.1 Panduan Umum untuk Bekerja dengan Gas Mampat 150

10.3.2 Menangani Silinder Gas Mampat 150

10.3.2.1 Pembelian 150

10.3.2.2 Penyimpanan 151

10.3.2.3 Penanganan dan Penggunaan 152

10.3.2.4 Pencegahan Kebocoran 152

10.3.2.5 Menangani Kebocoran 153

10.4 Bekerja dengan Tekanan dan Suhu Tinggi dan Rendah **153**

10.4.1 Bekerja dengan Bejana Bertekanan 154

10.4.2 Bekerja dengan Peralatan Kaca 154

10.4.3 Bekerja dengan Gas Cair dan Cairan Kriogenik 156

10.4.3.1 Tindakan Pencegahan saat Menggunakan Gas Cair dan Cairan Kriogenik 156

10.4.3.2 Tindakan Pencegahan saat Menggunakan Perangkap Dingin dan Rendaman Dingin 157

10.4.3.3 Tindakan Pencegahan saat Menggunakan Peralatan Suhu Rendah 158

10.4.3.4 Tindakan Pencegahan Saat Menggunakan Saluran Kriogenik dan Cairan Superkritis 158

10.4.4 Bekerja dengan Vakum dan Peralatan Vakum 159

10.4.4.1 Perakitan Peralatan Vakum 159

10.4.4.2 Tindakan Pencegahan Saat Menggunakan Vakum 159

10.4.4.3 Tindakan Pencegahan Jika Menggunakan Peralatan Vakum Lainnya 159

10.5 Mengenakan Peralatan Perlindungan Diri, Keselamatan, dan Keadaan Darurat 160

10.5.1 Peralatan dan Pakaian Pelindung untuk Pegawai Laboratorium 160

10.5.2 Peralatan Keselamatan dan Darurat 161

10.5.2.1 Isi dan Penyimpanan 161

10.5.2.2 Inspeksi Peralatan 161

10.5.3 Menyusun Prosedur Darurat 162

10.1 Pendahuluan

Banyak kecelakaan di laboratorium terjadi karena penggunaan atau perawatan peralatan laboratorium yang tidak benar. Bahaya terkait peralatan yang paling umum di laboratorium berasal dari peralatan berdaya listrik dan perangkat untuk menangani gas mampat, tekanan tinggi atau rendah, dan suhu tinggi atau rendah. Bab ini membahas praktik yang aman untuk menangani peralatan laboratorium.

10.2 Bekerja dengan Peralatan Berdaya Listrik

Peralatan berdaya listrik yang ada di laboratorium meliputi pompa cairan dan vakum, laser, suplai daya, peranti elektrokimia, peralatan sinar-X, pengaduk, hot plate, selubung pemanas, oven gelombang mikro, dan ultrasonikator. Semua perangkat tersebut dapat menimbulkan bahaya mekanik maupun bahaya listrik. Perawatan peralatan secara reguler dan memadai serta penggunaan yang benar dapat memperkecil sebagian besar risiko.

Hanya teknisi yang dilatih dengan baik dan kompeten yang dapat memperbaiki dan mengkalibrasi peralatan listrik, sehingga peralatan tersebut memenuhi standar keselamatan listrik yang memadai. Setiap orang yang menggunakan peralatan listrik dalam eksperimen *harus* mengetahui semua masalah keselamatan yang terkait dan potensi bahayanya.

10.2.1 Tindakan Pencegahan Umum untuk Bekerja dengan Peralatan Listrik

1. Pasang isolasi dengan baik dan lakukan inspeksi visual pada semua peralatan listrik setiap bulan. Minta pegawai yang kompeten mengganti kabel yang terurai atau rusak.



Peralatan listrik di laboratorium—mulai pinggan panas hingga peralatan spektroskopi sinar tampak ultra violet yang digunakan untuk menganalisis struktur kimia—harus digunakan dengan benar dan diperiksa secara teratur.

2. Pastikan semua peralatan listrik dan suplai daya telah terisolasi aliran listriknya. Di setiap pengaturan eksperimen, tutup semua suplai daya sehingga tidak mungkin terjadi kontak yang tidak disengaja dengan sirkuit daya.
3. Pasang lampu anti ledakan dan perlengkapan instalasi listrik lengkap di tempat banyak pelarut yang mudah terbakar digunakan.
4. Jika mungkin terdapat bahan mudah terbakar yang dapat menguap, modifikasi peralatan listrik berpenggerak motor dengan motor induksi tanpa percikan atau motor udara. Hindari motor lilitan seri yang menggunakan sikat karbon. Jangan gunakan peralatan rumah tangga dengan motor lilitan seri yang tidak dapat dimodifikasi (msl., kulkas dapur, mixer, blender) di dekat bahan mudah terbakar.
5. Hilangkan uap mudah terbakar sebelum membawa masuk peralatan listrik dengan motor lilitan seri, seperti penghisap debu dan bor listrik portabel.
6. Jangan gunakan ototransformator variabel untuk mengendalikan kecepatan motor induksi. Motor akan menjadi terlalu panas, sehingga memicu api.
7. Letakkan peralatan listrik di tempat yang dapat mengurangi kontak dengan tumpahan atau uap mudah terbakar. Jika air atau bahan kimia tumpah pada peralatan listrik, segera matikan daya di sakelar utama atau pemutus arus dan lepaskan peranti dari sumber listrik menggunakan sarung tangan karet.
8. Kurangi kondensasi yang dapat menyebabkan peralatan listrik menjadi terlalu panas, berasap, atau terbakar. Jika ini terjadi, segera matikan daya di sakelar utama atau pemutus arus dan lepaskan peranti dari sumber listrik menggunakan sarung tangan karet.
9. Untuk mengurangi kemungkinan kejutan listrik, hubungkan peralatan ke saluran pentanahan yang baik menggunakan bahan lantai yang sesuai. Pasang penyela kesalahan pentanahan (GFCI).
10. Lepaskan peralatan dari sumber listrik sebelum melakukan penyetelan, modifikasi, atau perbaikan. Jika perlu untuk menangani peralatan yang terhubung ke sumber listrik, pastikan tangan Anda kering. Jika mungkin, pakai sarung tangan nonkonduktif dan sepatu dengan sol isolator.
11. Pastikan semua pekerja mengetahui lokasi dan cara mengoperasikan sakelar utama dan kotak pemutus arus. Kotak pemutus arus tegangan tinggi harus dilabeli dengan tanda bahaya halilintar listrik dan hanya digunakan oleh pegawai kompeten yang memenuhi syarat dengan

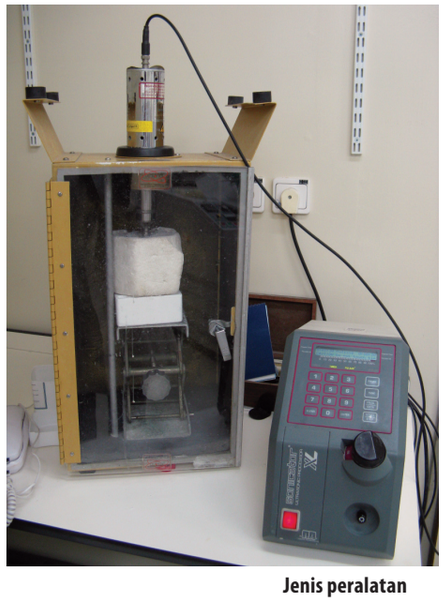
dibekali pematian daya alternatif dan memakai peralatan pelindung diri yang memadai (PPE).

12. Pastikan bahwa pekerja laboratorium yang terlatih mengetahui cara mematikan peralatan yang memiliki bagian berputar atau bergerak dengan aman. Latih pegawai cara menutupi atau melindungi bagian yang berbahaya.

10.2.2 Tindakan Pencegahan jika Bekerja dengan Peralatan Khusus

Ada juga beberapa tindakan keselamatan khusus untuk perangkat listrik seperti yang ada dalam daftar berikut:

- Alat pendingin air
- Pompa vakum
- Lemari es dan freezer
- Perangkat pengaduk dan pencampur
- Perangkat pemanas, seperti oven, pelat hangat, selubung dan pita pemanas, rendaman minyak, rendaman garam, rendaman pasir, rendaman udara, tungku tabung-panas, mesin pemanas udara, dan oven gelombang mikro
- Ultrasonikator dan sentrifuga
- Sumber radiasi elektromagnetik, seperti lampu ultraviolet, lampu busur, lampu bahang, laser, sumber gelombang mikro dan frekuensi radio, serta sinar-X dan berkas elektron
- Sistem spektometer resonansi magnetik inti (NMR - nuclear magnetic resonance)



Jenis peralatan lab tertentu, seperti sonikator ini, sering kali memerlukan tindakan keselamatan tersendiri.



Lihat *Lampiran I.1. Tindakan Pencegahan jika Bekerja dengan Peralatan Khusus* untuk tindakan keselamatan untuk perangkat listrik khusus.

10.3 Bekerja dengan Gas Mampat

Tindakan pencegahan diperlukan untuk menangani beragam jenis gas mampat dan silinder, pipa, dan bejana tempat penyimpanan dan penggunaan gas. *Buat daftar inventaris reguler untuk silinder dan periksa integritasnya. Segera buang silinder yang sudah tidak digunakan lagi.* (Lihat Bab 7 untuk pembahasan tentang bahaya bahan kimia dari gas yang mampat.)

10.3.1 Panduan Umum untuk Bekerja dengan Gas Mampat

1. Hanya izinkan pegawai yang terlatih untuk melakukan operasi tekanan tinggi dan hanya izinkan jika menggunakan peralatan yang dirancang untuk penggunaan ini.
2. Hanya gunakan komponen yang sesuai selama perakitan peralatan dan pipa bertekanan.
3. Hindari regangan dan retakan tersembunyi akibat penggunaan alat yang tidak sesuai atau daya berlebih.
4. Jangan memaksakan ulir jika terasa seret.
5. Gunakan lapisan Teflon atau pelumas ulir yang sesuai, tapi jangan pernah gunakan minyak atau pelumas pada peralatan yang akan digunakan dengan oksigen.
6. Periksa semua tabung dan ganti jika perlu.
7. Lindungi semua reaksi di bawah tekanan.
8. Jangan mengisi autoklaf dan bejana reaksi bertekanan lainnya lebih dari separuh sehingga ada ruang tersisa untuk penambahan cairan jika dipanaskan.
9. Tempelkan tanda peringatan yang mudah dilihat saat reaksi bertekanan sedang berlangsung.
10. Patuhi tindakan keselamatan khusus untuk perangkat gas mampat seperti yang ada dalam daftar berikut:
    - Perangkat pelepas tekanan
    - Pengukur tekanan
    - Pipa, tabung, dan fiting
    - Peralatan kaca
    - Peralatan plastik
    - Katup
    - Monitor gas
    - Aplikasi pita teflon



Lihat *Lampiran I.2. Panduan untuk Bekerja dengan Peralatan Gas Mampat Khusus* untuk mendapatkan informasi lebih lanjut tentang penanganan perangkat gas mampat yang aman.

10.3.2 Menangani Silinder Gas Mampat

10.3.2.1 *Pembelian*

Laboratorium harus memilih silinder terkecil yang sesuai kebutuhan. Tandai dan kembalikan silinder kosong. Hindari membeli silinder gas mampat (lecture bottle) yang tidak bisa dikembalikan. Sewa silinder dan beli isinya saja.

10.3.2.2 *Penyimpanan*



Tutup silinder gas dengan rapat jika tidak digunakan lagi.

1. Jangan terima silinder gas mampat jika tanpa label. Jika isi silinder tidak bisa diidentifikasi, tandai sebagai "isi tidak diketahui" dan hubungi pabrik.
2. Labeli silinder gas mampat dengan jelas menggunakan label tahan lama yang tidak bisa dilepaskan dari silinder, seperti stensil atau stempel pada silinder. Jika memungkinkan, sediakan label untuk menuliskan nama pengguna dan tanggal penggunaan. Beri kode warna untuk membedakan gas-gas berbahaya. Jangan bergantung pada kode warna pabrik. Kode tersebut mungkin berbeda antar perusahaan.
3. Labeli dengan jelas semua saluran gas yang berasal dari pasokan gas mampat untuk mengidentifikasi gas, laboratorium yang dialiri, dan nomor telepon keadaan darurat yang sesuai.
4. Ikat atau rantai silinder gas ke dinding atau bagian atas bangku dengan kencang. Di area rawan gempa, gunakan lebih dari satu tali atau rantai.
5. Pisahkan tempat penyimpanan silinder gas dari tempat penyimpanan bahan kimia lainnya. Idealnya, simpan silinder gas di kurungan terkunci dan amankan ke dinding. Letakkan kurungan di luar gedung.
6. Simpan kelas gas yang tidak sesuai secara terpisah. Jangan simpan korosif di dekat silinder gas atau silinder gas mampat. Uap korosif dari asam mineral bisa merusak tanda dan katup. Jauhkan gas yang mudah terbakar dari zat reaktif, yang meliputi oksidator dan korosif. Untuk informasi lebih lanjut tentang penyimpanan gas yang mudah terbakar, lihat Bab 8.
7. Tempelkan tanda di tempat penyimpanan gas mampat yang mudah terbakar.
8. Pisahkan silinder kosong dari silinder penuh.
9. Jika silinder tidak digunakan lagi, tutup katup, bebaskan tekanan dalam regulator gas, lepaskan regulator, dan tutup silinder.
10. Jangan biarkan silinder di area penyimpanan bongkar muat.
11. Kembalikan silinder ke pemasok jika Anda sudah selesai menggunakannya.

10.3.2.3 *Penanganan dan Penggunaan*

1. Tangani silinder gas dengan hati-hati. Biarkan tutup pelindung katup di tempatnya hingga silinder siap digunakan. Angkut silinder dengan kereta silinder beroda yang disetujui dan dilengkapi dengan tali atau rantai pengaman.
2. Amankan masing-masing silinder gas mampat dengan menggunakan penjepit dan sabuk atau rantai antara "pinggang" dan "bahu." Letakkan silinder di area yang berventilasi bagus.
3. Pastikan katup silinder putar di bagian atas selalu bisa diakses. Tutup katup silinder jika peralatan tidak digunakan.
4. Untuk melepas penutup atau membuka katup, hanya gunakan alat yang disediakan oleh pemasok silinder.
5. Jika memungkinkan, buka katup pada silinder yang berisi gas yang menyebabkan iritasi atau beracun. Latih pegawai agar berdiri melawan arah angin dengan katup yang diarahkan menjauhi pegawai. Buka katup dalam hanya di dalam tutup bahan kimia laboratorium atau lemari silinder yang dirancang khusus.

10.3.2.4 *Pencegahan Kebocoran*

1. Periksa secara teratur apakah ada kebocoran pada silinder dan slang. Gunakan detektor kebocoran gas mudah terbakar atau cari gelembung setelah selang dan silinder diberi air sabun atau larutan 50% gliserin-air. Jangan gunakan sabun atau larutan lain untuk menguji kebocoran oksigen, karena berpotensi menyulut api.
2. Gunakan regulator tekanan untuk menjaga agar tekanan hantar dan tingkat aliran memadai. Hanya pegawai terlatih yang boleh memperbaiki atau mengubah regulator. Jangan sekali-kali menggunakan minyak atau gemuk di katup regulator atau katup silinder karena zat-zat ini bisa bereaksi dengan beberapa gas, seperti oksigen. Periksa regulator sebelum digunakan untuk memastikan bahwa tidak ada benda asing dan regulator tersebut cocok untuk gas tertentu. Semua regulator tekanan harus dilengkapi dengan katup pegas pelepas tekanan. Jika digunakan di silinder yang berisi gas berbahaya, beri ventilasi katup pelepas menuju tudung kimia laboratorium atau lokasi aman lainnya.
3. Jauhkan silinder yang berisi gas mudah terbakar dari semua sumber penyulutan jikalau silinder bocor. Gunakan flash arrestor (pencegah kembalinya api) untuk gas yang mudah terbakar. Jangan menukar peralatan gas yang mudah terbakar dengan peralatan lain yang

digunakan untuk gas lain. Buatlah sambungan pentanahan pada silinder untuk mencegah penumpukan listrik statis. Pisahkan silinder gas mudah terbakar dari silinder gas oksidasi (yaitu, oksigen, florin, klorin) dengan jarak minimal 20 kaki (~6 m) atau dengan penyekat tahan api. Simpan semua silinder gas yang mudah terbakar di tempat yang ventilasinya baik.

10.3.2.5 *Menangani Kebocoran*

Silinder gas yang bocor adalah bahaya serius yang mungkin memerlukan proses evakuasi area dengan segera dan menelepon lembaga tanggap darurat. Hanya pegawai terlatih yang boleh berusaha menangani kebocoran. Jika terjadi kebocoran, jangan membebankan ketegangan berlebih terhadap katup yang macet. Kenakan PPE (Peralatan Perlindungan Diri) yang tepat, yang biasanya dilengkapi alat bantu pernafasan mandiri atau respirator saluran udara, saat memasuki area tempat terjadinya kebocoran. Berikut ini panduan untuk menangani kebocoran berbagai jenis gas. Hubungi pemasok gas untuk mendapatkan informasi dan panduan khusus.

- **Gas yang mudah terbakar, lembam, atau pengoksidasi.** Jika aman, pindahkan silinder yang bocor ke area terisolasi, yang jauh dari bahan yang mudah terbakar jika gas tersebut mudah terbakar atau merupakan agen pengoksidasi. Pasang tanda yang menyatakan bahaya dan peringatan. Hati-hati saat memindahkan silinder bocor yang berisi gas yang mudah terbakar sehingga tidak terjadi penyulutan yang tidak disengaja. Jika memungkinkan, pindahkan silinder bocor ke tutup bahan kimia hingga isi silinder habis.
- **Gas korosif.** Saat dilepaskan, gas korosif mungkin menambah ukuran kebocoran, beberapa gas korosif juga merupakan oksidan, mudah terbakar, atau beracun. Pindahkan silinder ke area terisolasi dan berventilasi bagus, serta arahkan gas ke arah penetral bahan kimia yang sesuai. Jika kemungkinan terjadi reaksi dengan penetral yang dapat mengakibatkan sedot balik ke dalam katup (msl., asam encer ke tangki amonia), letakkan perangkap pada saluran sebelum memulai penetralan. Pasang tanda yang menyatakan bahaya dan peringatan.
- **Gas beracun.** Prosedur yang sama seperti prosedur gas korosif harus dipatuhi untuk gas beracun. Peringatkan orang lain tentang risiko paparan.

10.4 Bekerja dengan Tekanan dan Suhu Tinggi dan Rendah

Bekerja dengan bahan kimia berbahaya pada tekanan tinggi dan rendah dan/atau suhu tinggi dan rendah memerlukan perencanaan dan tindakan pencegahan khusus. Untuk beberapa eksperimen, tekanan dan suhu ekstrem harus dikelola secara bersamaan. Peralatan yang sesuai harus digunakan untuk mencegah terjadinya kecelakaan.

10.4.1 Bekerja dengan Bejana Bertekanan

Operasi bertekanan tinggi harus dilakukan di bilik yang dirancang khusus untuk tujuan ini saja. Pegawai laboratorium harus memastikan bahwa peralatan untuk operasi yang menggunakan bejana bertekanan dipilih, dilabeli, dan dipasang dengan benar, serta dilindungi dengan perangkat pelepas tekanan dan kontrol yang diperlukan.

1. Labeli masing-masing bejana bertekanan dengan stempel nomor unik atau pelat label tetap yang mengidentifikasinya. Selain itu, ingat informasi berikut: tekanan kerja maksimal yang diperbolehkan; suhu yang diperbolehkan pada tekanan tersebut; bahan konstruksi; diagram ledakan; dan riwayat suhu ekstrem, modifikasi, perbaikan dan inspeksi atau pengujian bejana.
2. Cantumkan tekanan pelepas dan data pengaturan pada label logam yang dipasang pada perangkat pelepas tekanan yang terpasang. Segel mekanisme pengaturan.
3. Periksa atau uji semua peralatan tekanan secara berkala. Uji dan periksa bejana yang digunakan dengan bahan korosif atau bahan berbahaya dengan lebih sering. Uji ketahanan hidrostatis harus dilakukan sejarang mungkin tetapi dilakukan sebelum bejana digunakan untuk pertama kalinya dan setelah itu dilakukan setiap 10 tahun sekali. Selain itu, lakukan pengujian setelah perbaikan atau modifikasi berat, serta jika bejana mengalami tekanan atau suhu berlebih. Untuk mendeteksi kebocoran pada sambungan berulir, kemasan, dan katup, uji seluruh peranti dengan larutan sabun dan tekanan udara atau nitrogen pada tekanan kerja maksimal yang diperbolehkan pada bagian terlemah peranti yang dirangkai.
4. Uji tekanan dan uji kebocoran rakitan akhir untuk memastikan integritasnya. Berkonsultasilah dengan ahli pekerjaan bertekanan tinggi saat proses bertekanan tinggi dirancang, dibangun, dan dioperasikan. Berhati-hatilah saat membongkar peralatan bertekanan.

10.4.2 Bekerja dengan Peralatan Kaca

Jika memungkinkan, jalankan reaksi di bawah tekanan dalam peralatan logam, bukan kaca. Untuk reaksi yang berjalan dalam skala besar (dengan total berat reaktan lebih dari 10 g) atau pada tekanan maksimal di atas 690 kPa (100 psi), gunakan autoklaf atau bejana kocok bertekanan tinggi yang sesuai.

Anggap kaca yang digunakan di bawah tekanan gagal. Jika diperlukan kaca karena pertimbangan bahan konstruksi, gunakan reaktor logam dengan kaca atau

lapisan Teflon dan bukannya bejana kaca di bawah tekanan. Gunakan tindakan pencegahan ini saat menggunakan wadah dari kaca:

1. Tangani dan simpan peralatan pecah-belah dengan hati-hati untuk menghindari kerusakan. Buang atau perbaiki item yang sumbing atau retak.
2. Lepaskan gas dengan benar.
3. Gunakan pelindung yang sesuai, seperti jaring, di sekeliling peralatan pecah-belah untuk mencegah cedera akibat pecahan kaca yang beterbangan atau akibat korosif atau reaktan beracun.
4. Lindungi tangan dan badan saat melakukan operasi dengan menggunakan kekuatan yang menggunakan peralatan pecah belah. Misalnya, gunakan sarung tangan kulit atau Kevlar saat meletakkan tabung pada sambungan slang kaca.
5. Segel botol sentrifuga dengan sumbat karet yang dikencangkan, dibalut dengan pita gesek, dan dilindungi dengan pelindung logam atau dibalut dengan beberapa lapisan kain handuk longgar. Jepit botol di belakang pelindung yang aman. Jika tersedia pengukur tekanan, perkirakan tekanan maksimal yang diperbolehkan sesuai hasil kalkulasi.
6. Gunakan katup pelepas bertekanan Teflon saat bekerja dengan bahan korosif. Uap air merupakan sumber panas yang lebih baik untuk bejana tersebut.
7. Lakukan reaksi dengan katup pelepas tekanan Teflon pada tutup bahan kimia, dan labeli area dengan tanda yang menunjukkan risiko ledakan.
8. Isilah tabung kaca yang digunakan di bawah tekanan tidak lebih dari tiga perempat.
9. Tangani peralatan pecah-belah yang ditutupi vakum dengan sangat hati-hati untuk mencegah terjadinya ledakan. Pita, pelindung, atau peralatan yang dievakuasi seperti tabung Dewar atau desikator vakum. Untuk kerja vakum, gunakan peralatan pecah belah yang dirancang khusus untuk tujuan ini saja.
10. Gunakan pelindung yang sesuai untuk mengondensasikan bahan dan menyegel tabung.
11. Gunakan adaptor komersial yang terbuat dari plastik, logam, atau material lainnya; jangan gunakan adaptor konstruksi dari tabung kaca atau sumbat gabus.







Semua peralatan kaca laboratorium dapat pecah. Perlakukan dengan hati-hati.

12. Lakukan kerja vakum pada saluran Schlenck selama digunakan teknik yang tepat.
13. Gunakan PPE, termasuk pelindung, masker, jas, dan sarung tangan, selama operasi pembukaan tabung.
14. Periksa peralatan kaca bertekanan atau vakum yang baru diperbaiki atau baru dibuat di bawah sinar berkutub. Periksa kekurangan dan ketegangan. Hanya gunakan segel cair, tabung Bunsen, atau perangkat pelepas positif untuk melindungi alat kaca dari tekanan berlebih. Hanya gunakan peralatan logam yang sesuai dengan pipa kaca.
15. Gunakan tang, pinset, atau pelindung tangan tahan tusukan saat mengambil kaca yang pecah. Pecahan kecil harus dibersihkan dengan sapu ke kotak sisa-sisa sampah.
16. Jangan mencoba operasi peniupan kaca kecuali jika tersedia fasilitas pendinginan yang sesuai.

10.4.3 Bekerja dengan Gas Cair dan Cairan Kriogenik

Bahaya utama cairan kriogenik adalah radang dingin, asfiksiasi, kebakaran atau ledakan, meningkatnya tekanan, dan melemahnya material struktur. Suhu cairan kriogenik yang sangat rendah dan uap yang mendidih memerlukan penangangan khusus dalam penggunaannya. Gas seperti oksigen, hidrogen, metana, dan asetilena memiliki bahaya ledakan. Lakukan tindakan pencegahan yang diuraikan di bagian berikut saat bekerja dengan gas yang dicairkan dan cairan kriogenik.

10.4.3.1 *Tindakan Pencegahan saat Menggunakan Gas Cair dan Cairan Kriogenik*

1. Lapisi semua tabung dan peralatan berisi gas cair yang mudah terbakar dengan perangkat pelepas tekanan dengan pegas berbeban. Lindungi wadah bertekanan yang berisi material kriogenik dengan beberapa perangkat pelepas tekanan.
2. Simpan, kirimkan, dan tangani cairan kriogenik di kontainer dalam wadah yang dirancang untuk tekanan dan suhu yang dapat mempengaruhinya. Bibir labu Dewar yang digunakan untuk bahan kriogenik dalam jumlah kecil diberi penutup debu untuk mencegah embun di atmosfer tidak memadat dan menyumbat leher tabung.
3. Gunakan pelindung mata, terutama kaca mata pelindung percikan bahan kimia dan pelindung wajah, saat menangani gas cair dan cairan kriogenik lainnya. Pindahkan gas cair dengan sangat perlahan dan sambil diawasi jika dilakukan pertama kalinya. Jangan sampai bagian

tubuh yang tidak terlindung bersentuhan dengan bejana atau pipa berisi cairan kriogenik yang tidak berisolasi, karena material yang sangat dingin dapat mengikat kulit dengan kuat. Kenakan sarung tangan yang tidak dapat tertembus cairan yang sedang ditangani dan cukup longgar agar dapat dilepaskan dengan mudah. Bila memungkinkan, kenakan lengan panjang.

4. Gunakan tang atau lampin untuk memegang benda yang bersentuhan dengan cairan kriogenik.
5. Pastikan daerah kerja memiliki ventilasi baik untuk mencegah keracunan, ledakan, atau asfiksiasi.
6. Jangan memindahkan hidrogen cair di atmosfer udara untuk menghindari kemungkinan risiko ledakan.
7. Jauhkan oksigen cair dari material organik, dan bersihkan tumpahan dari permukaan yang mengoksidasi.
8. Pasang indikator dan alarm oksigen di ruangan yang berisi nitrogen cair (N2) dalam jumlah besar. Jangan menyimpan nitrogen cair di ruangan tertutup karena oksigen yang terdapat di ruangan tersebut dapat turun hingga tingkat yang tidak aman.



PPE untuk menangani kriogen mencakup sarung tangan longgar yang menghalangi suhu atau sarung tangan kulit, yang dapat dilepas dengan mudah.

9. Simpan tabung dan bejana tekanan lainnya yang digunakan untuk gas cair dengan isi tidak lebih dari 80% kapasitas untuk menghindari ledakan karena tekanan hidrostatis. Jika ada kemungkinan bahwa suhu tabung dapat meningkat hingga di atas 30°C, maka harus dibatasi hingga persentase kapasitas lebih rendah (msl., 60%).

10.4.3.2 *Tindakan Pencegahan saat Menggunakan Perangkap Dingin dan Rendaman Dingin*

1. Pilih perangkap dingin yang cukup besar dan cukup dingin untuk mengumpulkan uap terembunkan.
2. Periksa perangkap dingin secara teratur untuk memastikan bahwa perangkap dingin tidak tersumbat material beku.
3. Setelah menyelesaikan pengoperasian menggunakan perangkap dingin, lepas dan keluarkan udara di perangkap dengan cara yang aman dan ramah lingkungan. Pada penggunaan berkelanjutan, perangkap dingin harus didinginkan secara elektrik dan dipantau dengan pemeriksaan suhu rendah.



Selain bahaya suhu dingin ekstrem, perangkap dingin dapat memadatkan oksigen cair atau gas lainnya yang berpotensi meledak. Setelah menyelesaikan pengoperasian dengan perangkap dingin, lepas dan keluarkan udara dengan aman.

4. Kenakan sarung tangan dan pelindung wajah yang sesuai saat menggunakan rendaman dingin. Gunakan sarung tangan kering saat memegang es kering.
5. Hindari memasukkan kepala ke peti es kering untuk mencegah asfiksiasi.
6. Gunakan isopropil alkohol atau glikol, bukan es kering-aseton, untuk rendaman pendingin es kering. Tambahkan es kering secara perlahan ke bagian cair rendaman. Biarkan es kering dan gas cair yang digunakan di rendaman refrigeran terbuka ke atmosfer.
7. Gunakan nitrogen cair sebagai zat pendingin untuk perangkap dingin dengan sangat hati-hati. Jangan membuka sistem yang terhubung dengan perangkap nitrogen cair hingga Dewar atau wadah nitrogen cair dilepas. Tindakan pencegahan ini mencegah oksigen mengembun di atmosfer dan menciptakan campuran yang sangat mudah meledak. Meski sistem ditutup setelah terpapar singkat ke atmosfer, sejumlah oksigen mungkin telah mengembun, menghasilkan potensi ledakan yang sama.
8. Berhati-hatilah saat menggunakan argon, karena argon mengembun sebagai zat padat tak berwarna pada suhu nitrogen cair dan menyebabkan bahaya ledakan jika dibiarkan memanas tanpa mengeluarkan udara.

10.4.3.3 *Tindakan Pencegahan saat Menggunakan Peralatan Suhu Rendah*

Pilih peralatan bersuhu rendah dengan saksama. Jika diperlukan kombinasi material, pertimbangkan ketergantungan suhu volumenya sehingga kebocoran, pecahan, dan peretakan kaca dapat dihindari. Stainless steels yang mengandung 18% kromium dan 8% nikel mempertahankan ketahanan tumbukannya hingga sekitar –240°C. Ketahanan tumbukan aluminium, tembaga, nikel, serta logam dan campuran tahan karat lainnya meningkat seiring dengan naiknya suhu. Gunakan baja campuran khusus untuk cairan atau gas yang berisi hidrogen pada suhu lebih dari 200°C atau pada tekanan lebih dari 34,5 MPa (500 psi).

10.4.3.4 *Tindakan Pencegahan Saat Menggunakan Saluran Kriogenik dan Cairan Superkritis*

Rancang saluran pemindahan kriogen cair sehingga cairan tidak dapat terjebak di bagian sistem mana pun yang tidak berventilasi. Eksperimen cairan superkritis melibatkan tekanan tinggi. Lakukan dengan sistem keselamatan yang tepat.

10.4.4 Bekerja dengan Vakum dan Peralatan Vakum

Pekerjaan vakum dapat menyebabkan implosi dan kemungkinan bahaya kaca yang beterbangan, percikan bahan kimia, dan kebakaran. Peralatan dengan tekanan yang dikurangi sangat rentan terhadap perubahan tekanan cepat, yang dapat menimbulkan selisih tekanan yang besar di dalam peralatan. Kondisi semacam itu dapat mendorong cairan ke tempat yang tidak diinginkan dan menyebabkan kecelakaan.

10.4.4.1 *Perakitan Peralatan Vakum*

Rakit peralatan vakum sedemikian rupa sehingga menghindari ketegangan saat dipindahkan atau digunakan. Lindungi saluran vakum dan Schlenk dari kelebihan tekanan dengan bubbler, bukan perangkat regulator gas dan pelepas tekanan logam. Jika menginginkan sedikit tekanan gas positif di saluran ini, tekanan tidak boleh lebih dari 1-2 psi dan dapat dicapai dengan mudah dengan desain bubbler yang sesuai.

Kembalikan peralatan vakum dengan baik ke bangku atau tudung di mana peralatan tidak akan terpukul dengan tidak sengaja. Jika bagian belakang setup vakum menghadap laboratorium terbuka, lindungi dengan panel plastik transparan yang kuat dan tepat agar pekerja di dekat lokasi tidak cedera karena pecahan kaca yang beterbangan jika terjadi ledakan.

10.4.4.2 *Tindakan Pencegahan Saat Menggunakan Vakum*

1. Gunakan pelindung tekanan, masker wajah, tudung bahan kimia laboratorium.
2. Jangan sampai air, pelarut, dan gas korosif memasuki sistem vakum gedung. Jika terjadi potensi masalah semacam itu, gunakan perangkap dingin, bukan aspirator air.
3. Lindungi pompa vakum mekanik dengan perangkap dingin. Keluarkan udara buang ke cerobong buang atau ke luar gedung. Jika zat pelarut atau zat korosif tidak sengaja masuk ke pompa, ganti oli sebelum digunakan lagi.
4. Tutupi sabuk dan puli pada pompa vakum dengan pemandu.

10.4.4.3 *Tindakan Pencegahan Jika Menggunakan Peralatan Vakum Lainnya*

Tindakan pencegahan khusus harus dilakukan saat bekerja dengan peralatan vakum lain, misalnya

- bejana kaca
- desikator
- labu Dewar
- evaporator putar



Lihat *Lampiran I.3. Tindakan Pencegahan Saat Menggunakan Peralatan Vakum Lainnya* untuk tindakan keamanan lebih terperinci.

10.5 Mengenakan Peralatan Perlindungan Diri, Keselamatan, dan Keadaan Darurat

Penting bagi setiap orang untuk memastikan bahwa laboratorium adalah lingkungan kerja yang aman. Lembaga bertanggung jawab untuk menyediakan peralatan keamanan dan darurat yang sesuai untuk pegawai laboratorium terlatih dan untuk lembaga tanggap darurat. Semua orang harus bertanggung jawab untuk menggunakan pakaian dengan benar agar terhindar dari kecelakaan dan cedera.



Lihat *Lampiran H.1. Peralatan Perlindungan Diri, Keselamatan, dan Keadaan Darurat* untuk mendapatkan informasi lebih terperinci tentang semua peralatan keselamatan dan darurat berikut.

10.5.1 Peralatan dan Pakaian Pelindung untuk Pegawai Laboratorium

- **Pakaian Pribadi:** Pakaian pribadi harus menutupi tubuh sepenuhnya. Kenakan jas laboratorium yang sesuai dan tahan api dalam keadaan dikancingkan dan lengan tidak digulung. Selalu gunakan pakaian pelindung jika ada kemungkinan bahwa pakaian pribadi dapat terkontaminasi atau rusak karena bahan berbahaya kimia. Ikat rambut yang panjang dan hindari penggunaan pakaian longgar serta perhiasan.
- **Perlindungan Kaki:** Kenakan sepatu yang kuat di area tempat bahan kimia berbahaya digunakan dan kerja mekanik dilakukan. Dalam banyak kasus, kenakan sepatu keselamatan.
- **Perlindungan Mata dan Wajah:** Kenakan kacamata keselamatan dengan pelindung samping untuk bekerja di laboratorium dan, terutama, dengan bahan kimia berbahaya. Laboratorium juga harus menyediakan kaca mata benturan yang dilengkapi pelindung percikan (kaca mata pelindung percikan bahan kimia), pelindung wajah sepenuhnya yang juga melindungi tenggorokan, dan pelindung mata khusus (yaitu perlindungan terhadap sinar ultraviolet atau sinar laser).
- **Pelindung Tangan:** Sepanjang waktu, gunakan sarung tangan yang sesuai dengan derajat bahaya. Krim dan lotion penghalang dapat memberi perlindungan kulit tetapi tidak akan pernah menggantikan sarung tangan, pakaian pelindung, atau peralatan pelindung lainnya.

10.5.2 Peralatan Keselamatan dan Darurat

10.5.2.1 *Isi dan Penyimpanan*

Lembaga harus menyediakan *peralatan keselamatan:*

- perangkat pengendali tumpahan;
- pelindung keselamatan;
- peralatan keselamatan kebakaran, seperti pemadam api, detektor panas dan asap, selang kebakaran, dan sistem pemadaman api otomatis;
- respirator;
- pancuran keselamatan; dan
- unit pencuci mata.

Laboratorium harus menyediakan *peralatan darurat:*

- alat bantu pernafasan (hanya untuk digunakan oleh pegawai terlatih);
- selimut untuk menyelimuti penderita cedera;
- tandu (meski umumnya paling baik menunggu bantuan medis yang kompeten); dan
- Peralatan pertolongan pertama untuk situasi tidak biasa yang memerlukan pertolongan pertama dengan segera.

Simpan peralatan keselamatan dan darurat di tempat yang ditandai dengan baik dan sangat mudah terlihat di seluruh laboratorium. Buat stasiun tarik alarm kebakaran dan telepon dengan nomor kontak darurat yang siap dihubungi. Supervisor laboratorium bertanggung jawab untuk memastikan pelatihan yang tepat dan menyediakan peralatan pengganti jika dibutuhkan.

10.5.2.2 *Inspeksi Peralatan*

Supervisor laboratorium dan petugas keselamatan dan keamanan kimia (CSSO) bertanggung jawab menyusun sistem inspeksi rutin dan memastikan bahwa catatan inspeksi disimpan. Inspeksi peralatan darurat harus meliputi langkah berikut.

1. Periksa pemadam api apakah ada segel yang rusak, kerusakan, dan tekanan indikator rendah. Periksa apakah pemasangannya tepat. Beberapa jenis pemadam harus ditimbang setiap tahun dan mungkin memerlukan pengujian hidrostatis berkala.





Untuk pegawai baru, tanda yang terlihat dapat membantu menemukan pancuran keselamatan dan pencuci mata. Pemadam api air dan CO_2 portabel tersedia untuk mengatasi berbagai jenis kebakaran.

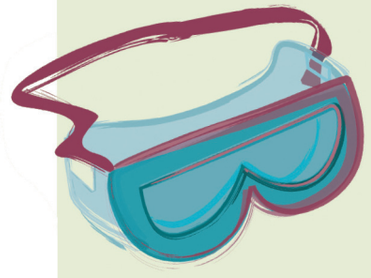
2. Periksa alat bantu pernapasan paling sedikit sekali sebulan dan setiap kali selesai digunakan untuk menentukan apakah tekanan udaranya tetap sesuai. Cari tanda-tanda kerusakan atau keausan komponen karet, harness, dan perangkat keras. Pastikan peralatan bersih dan bebas dari kontaminasi yang terlihat. Pegawai yang terlatih harus melakukan uji kesesuaian secara berkala untuk memastikan bahwa masker melindungi wajah dengan baik.
3. Periksa unit pancuran keselamatan dan pencuci mata secara visual dan uji fungsi mekanisnya. Kosongkan-dan-bersihkan unit bila perlu untuk menghilangkan materi partikulat dari saluran udara.

10.5.3 Menyusun Prosedur Darurat

Manajer laboratorium harus menyusun prosedur darurat umum untuk menanggulangi kebakaran, ledakan, tumpahan, atau kecelakaan medis maupun kecelakaan laboratorium lainnya. Pasang nomor telepon untuk menelepon panggilan darurat dengan jelas di dekat semua telepon di area berbahaya. Latih dan beri tahu semua pegawai laboratorium tentang protokol untuk lembaga tertentu mereka. Lihat Bab 3 untuk informasi lebih lanjut.

11 Mengelola Limbah Kimia







11.1 Pendahuluan **164**
11.1.1 Apa Limbah Itu? 164
11.1.2 Siapa yang Bertanggung Jawab atas Limbah? 164
11.1.3 Apa Saja Langkah-langkah Pengelolaan Limbah? 164

11.2 Mengidentifikasi Limbah dan Bahayanya **165**
11.2.1 Sifat-sifat Limbah Berbahaya 165
11.2.2 Menilai Bahan yang Tidak Dikenal 166

11.3 Mengumpulkan dan Menyimpan Limbah **166**
11.3.1 Pengumpulan dan Penyimpanan Limbah di Laboratorium 166
11.3.2 Pengumpulan Limbah di Area Pusat Pengumpulan 168
11.3.3 Pendaurulangan Bahan Kimia dan Bahan Laboratorium 169
11.3.3.1 Pertimbangan Umum 169
11.3.3.2 Pendaurulangan Pelarut 170
11.3.3.3 Pendaurulangan Wadah, Kemasan, dan Peralatan Laboratorium 171

11.4 Penanganan dan Pengurangan Bahaya **171**
11.4.1 Penanganan Bahan Kimia Laboratorium 171
11.4.2 Pengurangan Limbah Multi-bahaya 172

11.5 Opsi Pembuangan **172**
11.5.1 Insinerasi 172
11.5.2 Pembuangan di Pipa Drainase 173
11.5.3 Pelepasan ke Atmosfer 173
11.5.4 Pembuangan Limbah yang Tidak Berbahaya 173
11.5.5 Pembuangan Limbah Di Luar Laboratorium 174
11.5.6 Pembuangan Limbah Kimia Yang Perlu Diperhatikan (COC) 174

11.1 Pendahuluan

Hampir setiap eksperimen di laboratorium menghasilkan beberapa limbah, yang mungkin berupa bahan-bahan seperti peralatan laboratorium sekali pakai, media filter, larutan air, dan bahan kimia berbahaya. Prinsip utama penanganan limbah laboratorium secara selamat dan aman adalah tidak boleh ada kegiatan laboratorium yang dimulai kecuali telah ada rencana pembuangan limbah yang tidak berbahaya dan berbahaya.

Tidak ada kegiatan yang boleh dimulai kecuali rencana pembuangan limbah berbahaya dan tidak berbahaya sudah diformulasikan.

Keputusan yang dibuat saat menangani limbah kimia mempengaruhi orang yang menghasilkan limbah, lembaga orang yang bersangkutan, dan masyarakat secara keseluruhan. Pegawai laboratorium yang menghasilkan limbah wajib mempertimbangkan nasib akhir bahan-bahan yang dihasilkan pekerjaan mereka. Pertimbangan ini meliputi biaya pembuangan, potensi bahaya terhadap orang-orang di luar laboratorium, dan potensi dampaknya terhadap lingkungan. Mungkin juga ada peraturan yang perlu dipertimbangkan.

11.1.1 Apa Limbah Itu?

Limbah adalah bahan yang dibuang, hendak dibuang, atau tidak lagi berguna sesuai peruntukannya. Sebuah bahan dianggap limbah jika dibiarkan atau jika dianggap "hakikatnya memang sejenis limbah," seperti bahan tumpah. Limbah dikelompokkan sebagai limbah berbahaya atau tidak berbahaya.

11.1.2 Siapa yang Bertanggung Jawab atas Limbah?

Begitu bahan menjadi limbah, tanggung jawab awal pembuangannya secara tepat ada pada pegawai laboratorium terlatih yang telah menggunakan atau menyintesiskan bahan tersebut. Pegawai-pegawai ini adalah orang yang paling tepat yang mengetahui karakteristik bahan tersebut. Merekalah yang bertanggung jawab untuk mengevaluasi bahaya dan memberikan informasi yang diperlukan untuk menentukan pembuangannya secara benar. Keputusan mereka harus sejalan dengan kerangka kerja lembaga untuk penanganan bahan berbahaya dan dengan peraturan yang berlaku.

11.1.3 Apa Saja Langkah-langkah Pengelolaan Limbah?

Langkah-langkah utama pengelolaan limbah adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi limbah dan bahayanya.
2. Mengumpulkan dan menyimpan limbah dengan cara yang tepat.
3. Mempertimbangkan pengurangan bahaya jika bisa.
4. Membuang limbah dengan baik.

Penerapan langkah-langkah ini berbeda-beda, tergantung sumber daya dan pengaturan masing-masing laboratorium. Bab ini membahas masing-masing langkah secara terperinci.

11.2 Mengidentifikasi Limbah dan Bahayanya

Karena diperlukan informasi tentang sifat-sifat limbah untuk membuangnya dengan benar, maka identifikasi semua bahan kimia yang digunakan atau dihasilkan di laboratorium. Secara umum, ini berarti limbah kimia harus disimpan di wadah yang ditandai dengan jelas. Jika limbah dihasilkan di dalam laboratorium, tulislah sumbernya dengan jelas di wadah dan di buku catatan yang sudah tersedia. Sangat penting untuk mengidentifikasi semua bahan dengan jelas di laboratorium akademik yang tingkat perputaran siswanya tinggi. Mengidentifikasi limbah dalam jumlah kecil dan karakteristik bahayanya dengan tepat sama pentingnya dengan mengidentifikasi limbah dan mengidentifikasi karakteristik bahaya limbah dalam jumlah besar.

11.2.1 Sifat-sifat Limbah Berbahaya

- **Daya sulut:** Bahan yang mudah tersulut meliputi pelarut organik paling umum, gas seperti hidrogen dan hidrokarbon, dan beberapa garam nitrat tertentu. Bahan dianggap mudah tersulut jika memiliki satu atau beberapa sifat berikut ini:
  - cairan yang memiliki titik nyala kurang dari 60°C atau beberapa sifat lain yang berpotensi menyebabkan kebakaran;
  - bahan-bahan selain cairan yang dapat, dalam suhu dan tekanan standar, menyebabkan kebakaran akibat gesekan, penyerapan kelembapan, atau perubahan bahan kimia secara spontan *dan,* jika tersulut, terbakar dengan sangat cepat dan terus menerus sehingga menimbulkan bahaya;
  - gas mampat yang mudah terbakar, termasuk gas yang membentuk campuran yang mudah terbakar; dan
  - pengoksidasi yang memicu terbakarnya bahan-bahan organik.
- **Korosivitas:** Cairan korosif memiliki pH ≤ 2 atau ≥ 12,5 atau menyebabkan karat pada tingkat baja tertentu. Asam dan basa laboratorium yang paling umum bersifat korosif.
- **Reaktivitas:** Reaktivitas meliputi zat-zat yang tidak stabil, bereaksi liar dengan air, dapat meledak jika terpapar sebagian sumber nyala, atau menghasilkan gas beracun. Logam alkali, peroksida dan senyawa yang telah membentuk peroksida, dan senyawa sianida atau sulfida diklasifikasikan sebagai bahan reaktif.
- **Toksisitas:** Toksisitas meliputi zat-zat yang cenderung keluar (terekstrak) dari bahan limbah dalam kondisi-kondisi tertentu, seperti di tempat pembuangan.



Bahan Peledak



Mudah terbakar



Pengoksidasi



Korosif



Toksisitas Akut (Parah)



Iritan

Sistem Harmonisasi Global tentang Klasifikasi dan Pelabelan Bahan Kimia (GHS) menetapkan klasifikasi dan label bahaya.

Penting juga untuk mengetahui apakah limbah *ditetapkan* sebagai limbah berbahaya oleh peraturan, karena limbah yang ditetapkan sebagai berbahaya oleh peraturan harus ditangani dan dibuang dengan cara-cara khusus. Penetapan ini juga memiliki implikasi penting, yang menyebabkan perbedaan biaya pembuangan yang signifikan. Informasi lebih lanjut tentang mengevaluasi limbah berbahaya bisa ditemukan di Bab 7.

11.2.2 Menilai Bahan yang Tidak Dikenal

Identitas semua limbah harus sudah tersedia. Namun, jika ada limbah kimia yang tidak teridentifikasi, tes sederhana bisa dilakukan untuk menentukan bahayanya. Secara umum, struktur molekul bahan yang tidak dikenal tidak perlu ditentukan secara akurat. Namun, penting diketahui data analitis apa yang akan diperlukan oleh fasilitas yang akhirnya akan membuang limbah tersebut.



Lihat *Lampiran J.1. Cara Menilai Bahan yang Tidak Dikenal* untuk mendapatkan instruksi.

11.3 Mengumpulkan dan Menyimpan Limbah

Limbah kimia pertama-tama akan dikumpulkan dan disimpan sementara di dalam atau di dekat laboratorium. Limbah sering kali kemudian dipindahkan ke area pusat pengumpulan limbah di dalam lembaga sebelum akhirnya di buang ke tempat lain.

11.3.1 Pengumpulan dan Penyimpanan Limbah di Laboratorium

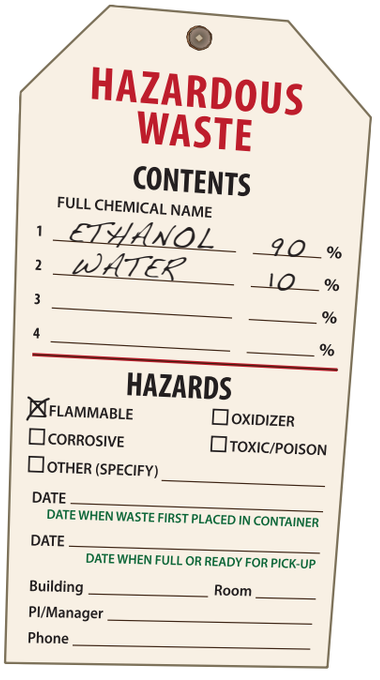
Pertimbangan keselamatan harus diprioritaskan saat membuat sistem pengumpulan limbah sementara di laboratorium. Ikutilah panduan umum berikut ini:

- **Penggunaan Wadah Pengumpul Limbah:** Simpan limbah di wadah berlabel jelas di lokasi yang ditetapkan yang tidak mengganggu beroperasinya laboratorium secara normal. Dalam beberapa kasus, penyimpanan berventilasi mungkin tepat. Gunakan tampungan sekunder, seperti baki, untuk berjaga-jaga jika terjadi tumpahan atau

BERHENTI DAN BERPIKIR: APAKAH INI BENAR-BENAR LIMBAH?

Segera setelah limbah dihasilkan waktu yang tepat untuk memutuskan apakah kelebihan bahan kimia akan didaur ulang atau dipakai ulang daripada dibuang. Semua biaya dan keuntungan kedua keputusan harus dievaluasi saat ini. Begitu limbah telah dicampur, pendaurulangan atau penggunaan kembali mungkin semakin sulit.

kebocoran dari wadah utama. Selalu tutup wadah limbah dengan erat kecuali saat menambahkan atau membuang limbah.



Labeli dengan jelas limbah berbahaya yang akan disimpan.

- **Pencampuran Limbah Kimia Berbeda:** Beberapa jenis limbah bisa dikumpulkan di satu wadah yang sama. Limbah yang dicampur harus kompatibel secara kimiawi untuk memastikan tidak terjadi pembentukan panas, evolusi gas, atau reaksi lainnya. Misalnya, limbah pelarut biasanya dapat dicampur untuk dibuang, setelah kompatibilitas komponennya dipertimbangkan dengan masak. Namun, limbah berhalogen dan non-halogen harus ditangani secara terpisah. Pisahkan langsung bahan yang tidak kompatibel atau simpan bahan dengan cara lain yang juga melindungi.
- **Pemberian Label pada Wadah Limbah:** Labeli setiap wadah limbah berbahaya dengan identitas bahan, bahayanya (misalnya, mudah terbakar, korosif), dan frasa "Hazardous Waste" atau "Limbah Berbahaya" Jika limbah yang kompatibel dikumpulkan di satu wadah yang sama, simpan daftar komponen-komponennya untuk membantu memudahkan pembuatan keputusan pembuangan selanjutnya. Buat labelnya jelas dan permanen.
- **Pemilihan Wadah yang Tepat:** Kumpulkan limbah di wadah yang tepercaya yang cocok dengan isinya.
  - **Wadah untuk Limbah Cair:** Gunakan wadah pengaman plastik (msl, polietilena) atau logam (msl, baja galvanis atau baja anti karat) untuk mengumpulkan limbah cair, terutama cairan yang mudah terbakar. Botol kaca tidak bisa ditembus sebagian besar bahan kimia, tetapi berisiko pecah. Leher botol yang sempit bisa menyulitkan pengosongan botol. Jangan simpan amina atau bahan korosif di wadah logam. Selain itu, jangan gunakan kaleng pengaman dari baja galvanis untuk limbah pelarut berhalogen karena pelarut ini cenderung menyebabkan korosi dan kebocoran.
  - **Wadah untuk Limbah Air:** Kumpulkan limbah air secara terpisah dari limbah pelarut organik. Sebagian laboratorium mungkin dilengkapi fasilitas penanganan air limbah yang memungkinkan pembuangan beberapa jenis limbah air ke pipa drainase (lihat Bagian 11.5.2). Kumpulkan limbah air yang tidak boleh dibuang ke pipa drainase di

wadah yang tahan terhadap korosi. Jangan gunakan kaca jika ada bahaya pembekuan.

  - **Wadah untuk Limbah Padat:** Tempatkan limbah kimia padat, seperti produk sampingan reaksi atau filter yang terkontaminasi atau media kromatografi, di wadah yang berlabel tepat untuk menunggu pembuangan. Pisahkan
  - reagen yang tidak diinginkan untuk dibuang di wadah asalnya, jika memungkinkan. Jika menggunakan wadah asli, pastikan labelnya utuh dan dapat dibaca.

- **Pertimbangan Jumlah dan Lama Waktu:** Secara umum, jangan simpan limbah di laboratorium dalam jumlah besar atau lebih dari satu tahun. Area pengumpulan pusat mungkin tepat untuk mengelola limbah dalam volume yang besar. Sebagian lembaga (dan di beberapa tempat, peraturan) mensyaratkan pencatatan tanggal dimulainya pengumpulan limbah.
- **Dekontaminasi Wadah Kosong:** Bilas wadah limbah kosong (kaca, logam) yang terkontaminasi bahan organik dengan pelarut bercampur air (aseton, metanol). Lalu, bersihkan dengan air sebanyak tiga kali. Tambahkan bilasan ke wadah limbah kimia. Buang wadah yang terkontaminasi tersebut seperti sampah lain.

11.3.2 Pengumpulan Limbah di Area Pusat Pengumpulan

Area pusat pengumpulan adalah komponen penting rencana manajemen bahan kimia. Prinsip-prinsip pengumpulan limbah di laboratorium yang dijelaskan di bagian atas juga berlaku untuk mengelola bahan kimia di area pengumpulan pusat. Ikutilah panduan-panduan berikut ini yang khusus berlaku di area pengumpulan pusat.

1. **Pencampuran Bahan Kimia Berbeda:** Penghematan biaya yang besar bisa diperoleh dengan mencampurkan limbah yang kompatibel di area pengumpulan pusat sebelum dibuang. Pencampuran ini terutama cocok untuk limbah pelarut. Pembuangan cairan dalam wadah besar (msl, drum 200 L) secara umum jauh lebih hemat dibandingkan pembuangan volume yang sama di wadah yang kecil.
2. **Pengangkutan Limbah:** Pengangkutan limbah dari laboratorium ke area pusat pengumpulan perlu memperhatikan keselamatan. Bahan-bahan yang diangkut harus ditampung di wadah yang tepat dan dilabeli dengan jelas. Harus terdapat rencana pengendalian tumpahan untuk berjaga-jaga jika terjadi kecelakaan selama proses pengangkutan.

Lembaga besar harus memiliki sistem pelacakan internal untuk mengikuti pergerakan limbah.

3. **Persiapan Pembuangan:** Keputusan pembuangan dan persiapan akhir pembuangan biasanya dilakukan di area pusat pengumpulan. Bahan-bahan yang tidak diketahui harus diidentifikasi di tempat ini karena limbah yang tidak teridentifikasi tidak boleh diangkut ke lokasi pembuangan.
   - Vendor bisa dilibatkan dalam fase pengelolaan limbah ini. Keputusan tentang apakah, bagaimana, dan kapan vendor perlu dilibatkan sangat bergantung pada logistik dan keekonomisannya.
4. **Pencatatan:** Catatan diperlukan untuk memantau keberhasilan program pengelolaan limbah berbahaya. Area pengumpulan pusat sering kali merupakan tempat yang paling tepat untuk membuat dan menyimpan semua catatan yang tepat dan diperlukan. Fasilitas harus menyimpan catatan kegiatan di lokasi laboratorium, yang meliputi beberapa hal berikut ini:
   - jumlah dan identifikasi limbah yang dihasilkan dan diangkut;
   - dokumen analisis bahan yang tidak dikenal;
   - dokumen pengangkutan limbah serta verifikasi pembuangannya; dan
   - semua informasi lainnya yang disyaratkan oleh peraturan dan yang mencegah tanggung jawab jangka panjang.

11.3.3 Pendaurulangan Bahan Kimia dan Bahan Laboratorium

11.3.3.1 *Pertimbangan Umum*

Sebelum membuat keputusan tentang daur ulang, hitung perbandingan biaya daur ulang dan pembuangan limbah. Identifikasi pengguna produk daur ulang sebelum membuang-buang waktu dan energi membuat produk yang masih harus dibuang sebagai sampah. Pendaurulangan sebagian bahan kimia yang digunakan di kelas laboratorium tingkat sarjana sangat hemat karena pengguna sudah diketahui dengan baik sebelumnya.

Bahan-bahan yang belum bersih harus diproses ke tingkat kemurnian yang lebih tinggi atau diubah kondisi fisiknya sebelum bahan-bahan tersebut dapat didaur ulang. Daur ulang bisa dilakukan di dalam atau di luar lokasi laboratorium.

- **Daur Ulang di Luar Laboratorium:** Perusahaan komersial mendaur ulang, mengolah, memurnikan, dan menstabilkan oli pompa vakum, pelarut, merkuri, bahan-bahan langka, dan logam. Daur ulang di luar

laboratorium lebih baik daripada pembuangan dan kadang lebih murah. Opsi di luar laboratorium lainnya adalah bekerja sama dengan pemasok bahan kimia laboratorium yang menerima pengembalian wadah yang belum dibuka, termasuk wadah bahan kimia yang sangat reaktif. Pemasok gas kadang menerima pengembalian silinder yang baru digunakan sebagian.

- **Daur Ulang di Laboratorium:** Daur ulang juga dilakukan di laboratorium atau di lokasi pusat yang mengumpulkan bahan daur ulang dari beberapa laboratorium. Daur ulang di laboratorium mungkin tidak ekonomis. Bahkan sedikit limbah mungkin memerlukan pembuangan yang sangat mahal oleh vendor komersial. Karena sulitnya menjaga tingkat kebersihan dan keselamatan yang diperlukan, hindari daur ulang merkuri dan logam beracun lain di laboratorium.

Entah daur ulang di dalam atau di luar laboratorium, aliran limbah daur ulang perlu dijaga sebersih mungkin. Jika laboratorium menghasilkan banyak sekali xilena air misalnya, sedikit pelarut organik lain harus dikumpulkan di wadah terpisah, karena proses penyulingan menghasilkan produk yang lebih baik dengan lebih sedikit bahan yang dipisahkan. Selain itu, ambil langkah-langkah untuk menghindari masuknya merkuri ke dalam rendaman minyak dan minyak yang digunakan di sistem vakum. Demikian juga, ion tertentu dalam larutan limbah garam logam memiliki dampak negatif yang serius terhadap proses rekristalisasi.

Banyak proses daur ulang menghasilkan residu yang tidak dapat digunakan kembali dan mungkin harus ditangani sebagai limbah berbahaya. Lihat Bab 7 dan berikut ini untuk mendapatkan informasi tambahan.

11.3.3.2 *Pendaurulangan Pelarut*

Sebelum membeli alat daur ulang pelarut, ketahuilah maksud penggunaan pelarut yang disuling ulang tersebut. Pilihan unit penyulingan untuk daur ulang pelarut sangat tergantung pada tingkat kemurnian yang diinginkan pada pelarut. Peralatan labu, kolom, dan kondensor sederhana mungkin cukup untuk pelarut yang akan digunakan untuk pemisahan kasar atau untuk pembersihan perangkat kaca awal. Untuk tingkat kemurnian yang lebih tinggi, gunakan spinning band column (kolom pita berputar). Bejana yang dilengkapi kontrol otomatis yang mematikan sistem dalam kondisi tertentu merupakan pilihan terbaik karena alat tersebut meningkatkan keselamatan pengoperasian penyulingan. Secara umum, penyulingan mungkin paling efektif jika laboratorium mengumpulkan limbah pelarut-tunggal yang relatif banyak dan cukup bersih (kira-kira 5 L) sebelum proses penyulingan dimulai.

11.3.3.3 *Pendaurulangan Wadah, Kemasan, dan Peralatan Laboratorium*

Bahan-bahan laboratorium selain bahan kimia mungkin dapat didaur ulang. Bahan-bahan tersebut meliputi

- Wadah kaca dan plastik yang bersih
- Drum dan ember
- Sisa plastik dan film
- Kardus
- Kertas kantor
- Bohlam
- Papan sirkuit
- Perangkat elektronik lainnya
- Logam seperti baja dan aluminium
- Peralatan komputer

11.4 Penanganan dan Pengurangan Bahaya

Volume atau sifat bahaya dari banyak bahan kimia dapat dikurangi melalui reaksi yang dilakukan di dalam laboratorium. Sebenarnya, menyertakan reaksi tersebut sebagai langkah akhir eksperimen sudah menjadi praktik yang semakin umum. Penonaktifan bahan kimia sebagai bagian dari prosedur eksperimen bisa sangat menguntungkan secara ekonomis karena kelebihan bahan dalam jumlah yang sedikit tidak perlu ditangani sebagai limbah berbahaya.



Lihat *Lampiran J.2. Prosedur untuk Penanganan Kelebihan dan Limbah Kimia Skala Laboratorium* untuk mendapatkan instruksi tentang penanganan beberapa jenis limbah berbahaya.

11.4.1 Penanganan Bahan Kimia Laboratorium

Penanganan limbah meliputi perubahan karakter atau komposisi limbah secara fisik, kimiawi, atau biologis. Tujuan penanganan ini adalah menetralkan limbah, memulihkan energi atau sumber daya penting, atau membuat limbah menjadi tidak berbahaya atau berkurang bahayanya.

Sebelum melakukan proses apa pun yang dapat dianggap sebagai penanganan, pegawai laboratorium yang terlatih atau kantor kesehatan dan keselamatan lingkungan di lembaga yang bertanggung jawab harus bertanya kepada badan setempat atau nasional untuk mengklarifikasi peraturan yang berlaku. Penanganan limbah skala kecil di laboratorium tidak diperbolehkan di semua tempat. Kondisi-kondisi tertentu yang memungkinkan dilakukannya penanganan tanpa izin biasanya meliputi berikut ini:

- Penanganan di wadah pengumpulan.
- Penetralan dasar, atau pencampuran limbah asam dan alkali untuk membentuk larutan garam. Pikirkan pertimbangan keselamatan,

terutama penggunaan larutan encer untuk menghindari pembentukan panas yang cepat.

- Penanganan produk sampingan eksperimen sebelum menjadi limbah. Penanganan produk sampingan eksperimen berdasarkan asumsi bahwa bahan belum dianggap sampah atau ditangani seperti sampah. Jangan lakukan penanganan seperti itu selain di lokasi dihasilkannya produk sampingan tersebut.

11.4.2 Pengurangan Limbah Multi-bahaya

Limbah multi-bahaya adalah limbah yang menimbulkan kombinasi bahaya kimia, radioaktif, atau biologis. Pengelolaan limbah multi-bahaya sulit dan kompleks. Misalnya, pembuangan limbah multi-bahaya yang meliputi bahan kimia berbahaya dan bahan yang terkontaminasi mikroorganisme memerlukan standar khusus untuk mencegah lepasnya bahan yang menyebabkan infeksi ke lingkungan.

Metode pengelolaan limbah secara selamat dan aman memerlukan komitmen dari manajemen senior untuk mengembangkan dan mendukung program pengurangan limbah. Beberapa peningkatan operasional sederhana bisa membantu mengurangi limbah campuran. Misalnya, manajer laboratorium dapat

- membeli bahan kimia dan bahan radioaktif dalam jumlah yang diperlukan untuk eksperimen yang direncanakan untuk menghindari kelebihan bahan yang mungkin akhirnya akan menjadi limbah;
- menetapkan prosedur yang akan mencegah bercampurnya limbah radioaktif dengan bahan yang tidak terkontaminasi dan sampah; serta
- mempertimbangkan untuk mengganti bahan kimia atau sumber radio aktif limbah campuran dengan bahan yang kurang berbahaya.

11.5 Opsi Pembuangan

Laboratorium sering kali menggunakan beberapa opsi pembuangan karena masing-masing opsi memiliki keuntungan sendiri-sendiri untuk limbah tertentu.

11.5.1 Insinerasi

Insinerasi adalah metode pembuangan limbah laboratorium yang umum. Insinerasi biasanya dilakukan di oven berputar pada suhu tinggi (649-760°C). Teknologi ini sepenuhnya menghancurkan sebagian besar bahan organik dan secara signifikan mengurangi residu bahan yang harus dibuang di tempat sampah. Namun, opsi ini mahal karena memerlukan volume bahan bakar yang banyak untuk mencapai suhu yang diperlukan. Selain itu, beberapa bahan, seperti merkuri dan garam merkuri, mungkin tidak dapat diinsinerasi karena peraturan dan pembatasan kemampuan penghancurannya.

11.5.2 Pembuangan di Pipa Drainase

Pembuangan di sistem drainase (melewati pipa pembuangan) dulunya umum dilakukan, tetapi praktik ini telah sangat berubah. Banyak fasilitas laboratorium industri dan akademik telah sepenuhnya meniadakan pembuangan ke saluran drainase. Sebagian besar pembuangan ke saluran drainase dikendalikan secara lokal, dan sebaiknya konsultasikan dengan fasilitas drainase setempat untuk mengetahui apa saja yang diperbolehkan. Pertimbangkan pembuangan sebagian bahan limbah kimia di pipa drainase jika fasilitas drainase memperbolehkannya.

Bahan kimia yang mungkin diizinkan untuk dibuang di pipa drainase meliputi larutan air yang terurai secara alami dan larutan toksisitas rendah dari zat-zat anorganik. Cairan mudah terbakar yang tercampur air sering kali dilarang untuk dibuang di sistem drainase. Bahan kimia bercampur air tidak boleh masuk ke saluran drainase.

Buang limbah yang tepat di saluran drainase yang mengalir ke fasilitas drainase, tidak ke sistem pembuangan air hujan (storm drain) atau septik (kakus). Alirkan limbah dengan air yang jumlah seratus kali lebih banyak. Periksa secara berkala apakah saluran keluar air limbah di laboratorium tidak melebihi batas konsentrasi.

11.5.3 Pelepasan ke Atmosfer

Pelepasan uap ke atmosfer, seperti melalui saluran keluar evaporasi atau tudung asap yang terbuka, bukan metode pembuangan yang diperbolehkan. Pasang perangkat perangkap yang tepat di semua alat untuk pengoperasian yang diperkirakan akan melepaskan uap.

Tudung asap dirancang sebagai perangkat pengaman untuk menjauhkan uap dari laboratorium jika terjadi keadaan darurat, tidak sebagai sarana rutin untuk membuang limbah yang menguap. Sebagian laboratorium memiliki unit yang berisi filter penyerap, tetapi kapasitas serapnya terbatas. Pengaturan arah tudung asap ke perangkat perangkap biasa bisa sepenuhnya meniadakan pelepasan uap ke atmosfer.

11.5.4 Pembuangan Limbah yang Tidak Berbahaya

Jika aman dan diperbolehkan oleh peraturan setempat, pembuangan sampah yang tidak berbahaya melalui cara pembuangan sampah biasa atau saluran drainase bisa sangat mengurangi biaya pembuangan. Namun, ada banyak risiko yang terkait dengan bahan-bahan yang mungkin tidak dilabeli atau diuraikan secara benar. Selain itu, peraturan setempat mungkin membatasi pembuangan limbah di sistem perkotaan.

Laboratorium tetap bertanggung jawab atas nasib jangka panjang limbah tersebut.

Periksalah peraturan dan ketentuan kewenangan manajemen limbah padat setempat. Kembangkan daftar bahan limbah yang dapat dibuang dengan aman dan sah di tempat pembuangan biasa. Limbah biasa yang tidak ditetapkan sebagai

berbahaya oleh aturan meliputi garam tertentu (msl, kalium klorida, natrium karbonat), berbagai produk alami (msl, gula, asam amino), dan bahan lembam yang digunakan di laboratorium (msl, resin dan gel kromatografi yang tidak terkontaminasi). Di beberapa tempat, vendor limbah berbahaya mungkin membantu pembuangan bahan lembam.

11.5.5 Pembuangan Limbah Di Luar Laboratorium

Tujuan akhir limbah mungkin fasilitas pengolahan, penyimpanan, dan pembuangan. Di sinilah limbah ditampung, diolah (biasanya melalui aksi kimiawi atau insinerasi), atau langsung dibuang. Meskipun limbah telah meninggalkan laboratorium, laboratorium tetap bertanggung jawab atas nasib jangka panjang limbah tersebut. Laboratorium harus benar-benar mempercayai dan mengandalkan fasilitas pembuangan, serta pengangkut yang membawa limbah ke fasilitas.

11.5.6 Pembuangan Limbah Kimia Yang Perlu Diperhatikan (COC)

Akhir masa pakai bahan kimia yang perlu diperhatikan (COC) adalah pada saat dipakai dalam proses di laboratorium atau saat dibuang. Kembangkan dan terapkan program pembuangan bahan kimia yang meliputi langkah-langkah berikut ini.

1. Pastikan fasilitas atau proses pembuangan tersedia untuk COC.
2. Kembangkan prosedur yang menguraikan
   - bagaimana cara mengumpulkan dan menyimpan limbah dengan aman;
   - bagaimana limbah akan dikeluarkan dari laboratorium; dan
   - bagaimana cara pekerja laboratorium memberi tahu petugas keselamatan dan keamanan kimia (CSSO) jika mereka memiliki bahan yang tidak diinginkan yang akan dibuang.
3. Selalu lakukan pencatatan untuk memenuhi ketentuan peraturan yang meliputi, setidaknya, tanggal pembuangan, jumlah yang dibuang, dan metode pembuangan.
4. Simpan catatan pembuangan seluruhnya atau sesuai dengan ketentuan peraturan.

Sumber foto:

Halaman 16: Wikimedia Commons; **51 dan 52** *(bawah)*: Departemen Keselamatan dan Keamanan, University of Karachi, Pakistan **53, 55, dan 59:** Tim Program Keterlibatan Keamanan Bahan Kimia; **57:** Rune Welsh; **79:** Fabexplosive; **87:** Badan Survei Geologi A.S.; **90:** Zergonian; **98:** André Luis Carvalho, Leandro Maranghetti Lourenço; **105 dan 108:** Tim Program Keterlibatan Keamanan Bahan Kimia; **115:** Patrick John Y. Lim; **117, 120 dan 128** (*kiri dan kanan*): Departemen Keselamatan dan Keamanan, University of Karachi, Pakistan; **119:** Laboratorium Sisa Bahan Kimia, Departemen Pertanian South Carolina; **125:** Tim Program Keterlibatan Keamanan Bahan Kimia; **147 dan 161** (*bawah*): Wikimedia Commons; **149:** Eyal Bairey, Weizmann Institute for Science; **151:** Ildar Sagdejev; **155** (*atas*): Workingclass91; **155** (*bawah*): Panek; **157:** USDA, Scott Bauer; **158:** Firsthuman; **161** (*atas*): Patrick John Y. Lim

Lampiran

A

A.1. Contoh Daftar Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan

Tabel berikut (A.1 sampai A.5) adalah contoh jenis bahan kimia yang harus disertakan laboratorium dalam inventaris bahan kimia yang perlu diperhatikan (chemicals of concern, COC).

TABEL A.1 Senjata Kimia dan Prekursor Senjata Kimia[a]

Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan	Sinonim	Nomor Registri CAS[b]
1,4-Bis(2-kloroetiltio)-*n*-butana		142868-93-7
Bis(2-kloroetiltio)metana		63869-13-6
Bis(2-kloroetiltiometil) eter		63918-90-1
1,5-Bis(2-kloroetiltio)-*n*-pentana		142868-94-8
1,3-Bis(2-kloroetiltio)-*n*-propana		63905-10-2
2-Kloroetil klorometil sulfida		2625-76-5
Klorosarin	*O*-Isopropil metilfosfonokloridat	1445-76-7
Klorosoman	*O*-Pinakolil metilfosfonokloridat	7040-57-5
DF	Metil fosfonil difluorida	676-99-3
Etil fosfonil difluorida		753-98-0
HN1 (mustard nitrogen-1)	Bis(2-kloroetil)etilamina	538-07-8
HN2 (mustard nitrogen-2)	Bis(2-kloroetil)metilamina	51-75-2
HN3 (mustard nitrogen-3)	Tris(2-kloroetil)amina	555-77-1
Isopropilfosfonil difluorida		677-42-9
Lewisit 1	2-Klorovinildikloroarsina	541-25-3
Lewisit 2	Bis(2-klorovinil)kloroarsina	40334-69-8
Lewisit 3	Tris(2-klorovinil)arsina	40334-70-1
Mustard belerang (gas mustard (H))	Bis(2-kloroetil) sulfida	505-60-2
O-Mustard (T)	Bis(2-kloroetiltioetil) eter	63918-89-8
Propilfosfonil difluorida		690-14-2
QL	*O*-Etil-*O*-2-diisopropilaminoetil metilfosfonit	57856-11-8
Sarin	*O*-Isopropil metilfosfonoflouridat	107-44-8
Seskuimustard	1,2-Bis(2-kloroetiltio)etana	3563-36-8
Soman	*O*-Pinakolil metilfosfonofluoridat	96-64-0
Tabun	*O*-Etil *N,N*-dimetilfosforamido-sianidat	77-81-6
VX	*O*-Etil-S-2-diisopropilaminoetil metil fosfonotiolat	50782-69-9

CATATAN: Bahan kimia beracun dengan sedikit atau tanpa penggunaan yang sah, yang dikembangkan atau digunakan terutama untuk tujuan militer.[a]Jadwal Konvensi Senjata Kimia A.S. 1; lihat *http://www.cwc.gov/* (diakses 28 Oktober 2009).[b]Lihat situs web Layanan Abstrak Kimia *www.cas.org* (diakses 28 Oktober 2009). SUMBER: Daftar Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan versi Departemen Keamanan Dalam Negeri AS (U.S. Department of Homeland Security) (6 CFR Bagian 27 Lampiran Standar Anti-Terorisme Fasilitas Kimia; Peraturan Akhir; 20 November 2007).

TABEL A.2 Bahan Peledak dan Prekursor Perangkat Ledak Pengganti

Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan	Sinonim	Nomor Registri CAS
Aluminium (bubuk)		7429-90-5
Amonium nitrat		6484-52-2
Amonium perklorat		7790-98-9
Amonium pikrat		131-74-8
Barium azida		18810-58-7
Diazodinitrofenol		87-31-0
Dietilena glikol dinitrat		693-21-0
Dingu	Dinitroglikoluril	55510-04-8
Dinitrofenol		25550-58-7
Dinitroresorsinol		519-44-8
Dipikril sulfida		2217-06-3
Dipikrilamina [atau] Heksil	Heksanitrodifenilamina	131-73-7
Guanil nitrosoaminoguanilidena hidrazina		–
Heksanitrostilbena		20062-22-0
Heksolit	Heksotol	121-82-4
HMX	Siklotetrametilena-tetranitramina	2691-41-0
Hidrogen peroksida (konsentrasi minimal 35%)		7722-84-1
Timbal azida		13424-46-9
Timbal stifnat	Timbal trinitroresorsinat	15245-44-0
Magnesium (bubuk)		7439-95-4
Raksa fulminat		628-86-4
Nitrobenzena		98-95-3
5-Nitrobenzotriazol		2338-12-7
Nitroselulosa (bukan penyaring)		9004-70-0
Nitrogliserin		55-63-0
Nitromanit	Manitol heksanitrat, basah	15825-70-4
Nitrometana		75-52-5
Nitropati		9056-38-6
Nitrotriazolon		932-64-9
Oktolit		57607-37-1
Oktonal		78413-87-3
Pentolit		8066-33-9
PETN	Pentaeritritol tetranitrat	78-11-5
Fosfor		7723-14-0
Kalium klorat		3811-04-9
Kalium nitrat		7757-79-1
Kalium perklorat		7778-74-7
Kalium permanganat		7722-64-7
RDX	Siklotrimetilena-trinitramina	121-82-4
Campuran RDX dan HMX		121-82-4
Natrium azida		26628-22-8

TABEL A.2 Lanjutan

Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan	Sinonim	Nomor Registri CAS
Natrium klorat		7775-09-9
Natrium nitrat		7631-99-4
Tetranitroanilina		53014-37-2
Tetrazena	Guanil nitrosoaminoguanil-tetrazena	109-27-3
1*H*-Tetrazol		288-94-8
TNT	Trinitrotoluena	118-96-7
Torpeks	Heksotonal	67713-16-0
Trinitroanilina		26952-42-1
Trinitroanisol		606-35-9
Trinitrobenzena		99-35-4
Asam trinitrobenzenasulfonat		2508-19-2
Asam trinitrobenzoat		129-66-8
Trinitroklorobenzena		88-88-0
Trinitrofluorenona		129-79-3
Trinitro-*m*-kresol		602-99-3
Trinitronaftalena		55810-17-8
Trinitrofenetol		4732-14-3
Trinitrofenol	Asam pikrat	88-89-1
Trinitroresorsinol		82-71-3
Tritonal		54413-15-9

SUMBER: Daftar Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan versi Departemen Keamanan Dalam Negeri AS (U.S. Department of Homeland Security) (6 CFR Bagian 27 Lampiran Standar Anti-Terorisme Fasilitas Kimia; Peraturan Akhir; 20 November 2007).

TABEL A.3 Senjata dengan Efek Massal

Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan	Sinonim	Nomor Registri CAS
Arsina		7784-42-1
Boron tribromida		10294-33-4
Boron triklorida	Boran, trikloro	10294-34-5
Boron trifluorida	Boran, trifluoro	7637-07-2
Brom klorida		13863-41-7
Brom trifluorida		7787-71-5
Dinitrofenol		25550-58-7
Dinitroresorsinol		519-44-8
Karbonil fluorida		353-50-4
Klor pentafluorida		13637-63-3
Klor trifluorida		7790-91-2
Sianogen	Etanadinitril	460-19-5
Sianogen klorida		506-77-4
Diborana		19287-45-7
Diklorosilana	Silana, dikloro-	4109-96-0
Dinitrogen tetraoksida		10544-72-6
Flour		7782-41-4
Germanium		7782-65-2
Germanium tetrafluorida		7783-58-6
Heksafluoroaseton		684-16-2
Hidrogen bromida (anhidrat)		10035-10-6
Hidrogen klorida (anhidrat)		7647-01-0
Hidrogen sianida	Asam hidrosianat	74-90-8
Hidrogen fluorida (anhidrat)		7664-39-3
Hidrogen iodida, anhidrat		10034-85-2
Hidrogen selenida		7783-07-5
Hidrogen sulfida		7783-06-4
Metil merkaptan	Metanatiol	74-93-1
Metilklorosilana		993-00-0
Oksigen monoksida	Nitrogen oksida (NO)	10102-43-9
Nitrogen trioksida		10544-73-7
Nitrosil klorida		2696-92-6
Oksigen difluorida		7783-41-7
Perkloril fluorida		7616-94-6
Fosgen	Karbonat diklorida atau karbonildiklorida	75-44-5
Fosfina		7803-51-2
Fosfor triklorida		7719-12-2
Selenium heksafluorida		7783-79-1
Silikon tetrafluorida		7783-61-1
Stibin		7803-52-3
Belerang dioksida (anhidrat)		7446-09-5
Belerang tetrafluorida	Belerang fluorida (SF_4), (T-4)-	7783-60-0

TABEL A.3 Lanjutan

Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan	Sinonim	Nomor Registri CAS
Telurium heksafluorida		7783-80-4
Titanium tetraklorida	Titanium klorida ($TiCl_4$), (T-4)-	7550-45-0
Trifluoroasetil klorida		354-32-5
Wolfram heksafluorida		7783-82-6

SUMBER: Daftar Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan versi Departemen Keamanan Dalam Negeri AS (U.S. Department of Homeland Security) (6 CFR Bagian 27 Lampiran Standar Anti-Terorisme Fasilitas Kimia; Peraturan Akhir; 20 November 2007).

TABLE A.4 Contoh Bahan Kimia Beracun Akut (berdasarkan Sistem Harmonisasi Global Persatuan Bangsa-bangsa, Kategori Bahaya 1)[a]

Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan	Sinonim	Nomor Registri CAS
Akrolein	2-Propenal atau akrilaldehida	107-02-8
2-Aminopiridina		462-08-8
Gas arsen pentafluorida		784-36-3
Gas arsina		7784-42-1
Benzil klorida		100-44-7
Boron trifluorida	Boran, trifluoro	7637-07-2
Brom		7726-95-6
Klor		7782-50-5
Klor dioksida	Klor oksida (ClO_2)	10049-04-4
Klor trifluorida		7790-91-2
Sianogen klorida		506-77-4
Dekaborana		17702-41-9
Diazometana		334-88-3
Diborana		19287-45-7
Dikloroasetilena		79-36-7
Dimetilraksa		593-74-8
Dimetil sulfat		77-78-1
Dimetil sulfida		75-18-3
Etilena klorohidrin		107-07-3
Etilena fluorohidrin		371-62-0
Flour		7681-49-4
2-Fluoroetanol		371-62-0
Heksametilena diiososianat		822-06-0
Hidrogen sianida	Asam hidrosianat	74-90-8
Hidrogen fluorida		7664-39-3
Besi pentakarbonil	Besi karbonil ($Fe(CO)_5$), (Tb5-11)-	13463-40-6
Isopropil format		625-55-8
Metakriloil klorida		920-46-7
Metiakrilonitril	2-Propenanitril, 2-metil-	126-98-7
Metil kloroformat	Asam karbonokloridat, metil ester	79-22-1
Metilena bifenil isosianat		101-68-9
Metil fluoroasetat		453-18-9
Metil fluorosulfat		421-20-5
Metil hidrazina	Hidrazina, metil-	60-34-4
Metil raksa dan bentuk organik lainnya		—
Metil triklorosilana		75-79-6
Metil vinil keton		78-94-4
Nikel karbonil		13463-39-3
Nitrogen dioksida		10102-44-0
Nitrogen tetraoksida		10544-72-6
Nitrogen trioksida		10544-73-7
Osmium tetraoksida		20816-12-0
Oksigen difluorida		7783-41-7
Pentaboran		19624-22-7
Perklorometil merkaptan	Metanasulfenil klorida, trikloro-	594-42-3

TABEL A.4 Lanjutan

Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan	Sinonim	Nomor Registri CAS
Fosgen	Karbonat diklorida atau karbonil diklorida	75-44-5
Fosfina		7803-51-2
Fosfor oksiklorida	Fosforil klorida	10025-87-3
Fosfor pentafluorida		7641-19-0
Fosfor triklorida		7719-12-2
Sarin	*o*-Isopropil metilfosfonofluoridat	107-44-8
Selenium heksafluorida		7783-79-1
Silikon tetrafluorida		7783-61-1
Natrium azida		26628-22-8
Natrium sianida (dan garam sianida lainnya)		143-33-9
Stibin		7803-52-3
Belerang monoklorida		10025-67-9
Belerang pentafluorida		10546-01-7
Belerang tetrafluorida	Belerang fluorida (SF_4), (T-4)-	7783-60-0
Sulfuril klorida		7791-25-5
Telurium heksafluorida		7783-80-4
Tetrametil suksinonitril		3333-52-6
Tetranitrometana	Metana, tetranitro-	509-14-8
Tionil klorida		7719-09-7
Toluena-2,4-diisosianat		584-84-9
Trikloro(klormetil)silana		1558-25-4
Trimetiltimah klorida		1066-45-1

[a] Untuk informasi lebih lanjut, lihat *Sistem Harmonisasi Global tentang Klasifikasi dan Pelabelan Bahan Kimia* Edisi revisi ketiga. Persatuan Bangsa-bangsa, 2009. Tersedia di Internet di http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev03/03files_e.html (diakses tanggal 11 Juni 2010).

TABEL A.5 Bahan Kimia yang Digunakan dalam Produksi Rahasia Obat-obatan Terlarang

Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan	Produk Target
Asam asetat	Fenil-2-propanon (P-2-P)/kokain
Asetat anhidrida	Heroin/P-2-P/metakualon
Aseton	Kokaina/heroin/lainnya
Asetil klorida	Heroin
Asam N-asetilantranilat	Metakualon
Amonium format	Amfetamina
Amonium hidroksida	Kokaina/lainnya
Asam antranilat	Metakualon
Benzaldehida	Amfetamina
Benzena	Kokaina
Benzil klorida	Metamfetamina
Benzil sianida	Metamfetamina
2-Butanon (MEK)*	Kokaina
Butil asetat	Kokaina
N-Butil alkohol	Kokaina
Kalsium karbonat	Kokaina/lainnya
Kalsium oksida/hidroksida	Kokaina/lainnya
Kloroform	Kokaina/lainnya
Sikloheksanona	Fensiklidina (PCP)
Diaseton alkohol	Kokaina
Dietilamina	Kokaina lisergat dietilamida (LSD)
Efedrina	Metamfetamina
Ergometrina (ergonovina)	LSD
Ergotamina	LSD
Etil asetat	Kokaina
Etil alkohol	Kokaina/lainnya
Etil amina	Etilamfetamina/3,4-metilenadioksi- *N*-etilamfetamina (MDE)
Etil eter	Kokaina/heroin/lainnya
N-Etilefedrina	Etilamfetamina/MDE
N-Etilpseudoefedrina	Etilamfetamina/MDE
Formamida	Amfetamina
Heksana	Kokaina
Kokaina hidriodat (hidriotat)	Metamfetamina
Asam klorida	Kokaina/heroin/lainnya
Isopropil alkohol	Kokaina
Isosafrol	Kokaina
Kerosin	Kokaina
Asam lisergat	LSD
Metil alkohol	Kokaina
Metilamina	Metamfetamina/3,4-metilenadioksimetamfetamina (MDMA)
Metilena klorida	Kokaina/heroin/lainnya
3,4-Metilenadioksifenil-2-propanon	3,4-Metilenadioksiamfetamina (MDA)/MDMA/MDE
N-Metilefedrina	Amfetamina
N-Metilpseudoefedrina	Amfetamina
Nitroetana	Amfetamina

Lanjutan

Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan	**Produk Target**
Norpseudoefedrina	4-Metilaminoreks
Eter petroleum	Kokaina/lainnya
Asam fenilasetat	Fenil-2-propanon
Fenilpropanolamina	Amfetamina/4-metilaminoreks
1-Fenil-2-propanon	Amfetamina/metamfetamina
Piperidina	PCP
Piperonal	MDA/MDMA/MDE
Kalium karbonat	Kokaina
Kalium permanganat	Kokaina
Propionat anhidrida	Fentanil analog
Pseudoefedrina	Metamfetamina
Piridina	Heroin
Safrol	MDA/MDMA/MDE
Natrium asetat	P-2-P
Natrium bikarbonat	Kokaina/lainnya
Natrium karbonat	Kokaina/lainnya
Natrium sianida	PCP
Natrium hidroksida	Kokaina/lainnya
Natrium sulfat	Kokaina/lainnya
Asam sulfat	Kokaina/lainnya
Toluena	Kokaina
o-Toluidina	Metakualon
Xilena	Kokaina

CATATAN: Organisasi mungkin memilih untuk tidak menangani bahan kimia yang biasa digunakan dalam daftar ini sebagai COC (msl., aseton).

*2-Butanon dan metil etil keton (MEK) adalah dua nama untuk zat yang sama.

SUMBER: Sevick, J. R. 1993. *Prekursor dan Bahan Kimia yang Perlu Diperhatikan dalam Produksi Obat-obatan Terlarang: Pendekatan Penegakan.* National Institute of Justice. *http://www.popcenter.org/problems/meth_labs/PDFs/Sevick_1993.pdf* (diakses Juli 2009).

B

B.1. Sumber Informasi Kimia

Rencana Kesehatan Kimia

Rencana kesehatan bahan kimia meliputi prosedur pengoperasian standar untuk bekerja dengan zat kimia tertentu. Rencana ini mungkin memadai sebagai sumber informasi utama yang digunakan untuk penilaian risiko dan perencanaan eksperimen. Tetapi, sebagian besar rencana kesehatan bahan kimia hanya memberikan prosedur umum untuk menangani bahan kimia. Perencanaan eksperimen yang selamat dan aman mengharuskan pegawai laboratorium memeriksa sumber informasi tambahan tentang sifat zat yang terlibat dalam eksperimen yang diajukan.

Lembar Data Keselamatan Bahan

Lembar data keselamatan bahan (Material safety data sheet, MSDS) memberikan informasi tentang potensi bahaya zat komersial dan tindakan keselamatan yang perlu diikuti pengguna. Lembaga harus menyimpan MSDS yang disediakan oleh pemasok kimia, dan membuatnya tersedia untuk pekerja, lembaga penanggulangan keadaan darurat, dan lainnya.

Pegawai harus memeriksa MSDS untuk setiap bahan kimia tak dikenal sebelum mulai bekerja. File MSDS dapat berada di setiap laboratorium atau hanya disimpan di tempat terpusat. Banyak laboratorium yang saat ini mengakses MSDS secara elektronik. Pegawai laboratorium dapat selalu menghubungi pemasok kimia secara langsung dan meminta agar MSDS dikirim melalui surat.

MSDS adalah sumber informasi yang baik untuk menilai bahaya dan risiko zat kimia. Tetapi, MSDS memiliki batasan berikut:

- Kualitas MSDS yang diproduksi oleh pemasok bahan kimia berbeda sangat beragam.
- Morfologi khas bahan kimia berbahaya yang padat mungkin tidak disebutkan dalam MSDS.
- MSDS harus menjelaskan tindakan kendali dan tindakan pencegahan untuk pekerjaan dalam berbagai skala, berkisar mulai eksperimen laboratorium skala mikro hingga operasi pabrik besar. Sehingga, beberapa prosedur yang diuraikan dalam MSDS tidak diperlukan atau tidak sesuai untuk pekerjaan skala laboratorium.
- Banyak MSDS secara menyeluruh menyebutkan semua bahaya kesehatan yang terkait dengan suatu zat tanpa membedakan bahaya mana yang paling signifikan dan yang paling sering ditemui.

Ringkasan Keselamatan Kimia Laboratorium

Praktik Bijak di Laboratorium Penanganan dan Manajemen Bahaya Kimia dari The National Research Council (National Academy Press: Washington, DC) berisi 99 ringkasan keselamatan kimia laboratorium (laboratory chemical safety summaries, LCSS) yang memberikan informasi tentang bahan kimia dalam konteks penggunaan di laboratorium. Dokumen ini adalah ringkasan dan tidak dimaksudkan untuk memberi penjelasan menyeluruh atau berguna bagi semua kemungkinan pengguna bahan kimia.

Kartu Keselamatan Kimia Internasional

Kartu Keselamatan Kimia Internasional (International Chemical Safety Card, ICSC) memberikan informasi kesehatan dan keselamatan kimia yang penting. ICSC meliputi informasi tentang bahaya bahan kimia tertentu, tindakan pertolongan pertama dan pemadaman api, serta informasi tentang tindakan pencegahan untuk tumpahan, pembuangan, penyimpanan, pengemasan, pelabelan, dan pengangkutan. ICSC ditelaah oleh sejawat dalam kelompok ilmuwan. Ini menjadikan ICSC lebih andal dibanding sumber informasi bahan kimia lainnya, seperti MSDS yang dibuat oleh perusahaan dan tidak ditelaah sejawat.

ICSC saat ini tersedia di Internet dalam berbagai bahasa di alamat berikut: http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/SFIbproducts/icsc/.

Label

Pemasok komersial biasanya memberi label tindakan pencegahan pada wadah bahan kimianya. Label biasanya menunjukkan bahaya utama yang terkait dengan isinya. Perhatikan bahwa label tindakan pencegahan tidak menggantikan MSDS, LCSS, dan ICSC sebagai sumber informasi utama untuk penilaian risiko. Tetapi, label bertindak sebagai pengingat berharga tentang bahaya utama yang terkait dengan zat tersebut. Sama dengan MSDS, kualitas label dapat berubah-ubah. Jika wadah diterima tanpa label komersial, tanda bahaya yang sesuai harus dipasang pada wadah sebelum bahan kimia dapat digunakan di laboratorium.

Sistem Harmonisasi Global untuk Komunikasi Bahaya

Sistem Harmonisasi Global untuk Klasifikasi dan Pelabelan Bahan Kimia (Globally Harmonized System, GHS) adalah sistem yang diakui secara internasional untuk klasifikasi dan komunikasi bahaya. GHS mengelompokkan zat menurut bahaya fisik, kesehatan, dan lingkungan yang dimilikinya dan memberikan label berbasis piktogram standar untuk menunjukkan bahaya tersebut.

Label wadah harus menyertakan penanda produk dengan informasi bahan penyusun berbahaya, informasi pemasok, piktogram bahaya (Gambar B.1), kata isyarat, pernyataan bahaya, informasi pertolongan pertama, dan informasi tambahan. Tiga dari elemen ini—piktogram, kata isyarat, dan pernyataan bahaya—dibakukan menurut GHS. Kata isyarat "Bahaya" atau "Peringatan" mencerminkan keparahan bahaya yang ditimbulkan. Pernyataan bahaya adalah frasa standar yang menjelaskan sifat bahaya yang ditimbulkan oleh bahan (msl., pemanasan dapat menyebabkan ledakan).

GHS mengenal 16 jenis bahaya fisik, 9 jenis bahaya kesehatan, dan satu bahaya lingkungan.

Bahaya Fisik

- Bahan peledak
- Gas yang mudah terbakar
- Aerosol yang mudah terbakar
- Gas pengoksidasi
- Gas bertekanan
- Cairan yang mudah terbakar
- Padatan yang mudah terbakar
- Zat yang swa-reaktif
- Cairan piroforik
- Padatan piroforik

- Zat yang dapat menyala sendiri
- Zat yang, jika terkena air, menghasilkan gas yang mudah terbakar
- Cairan pengoksidasi
- Padatan pengoksidasi
- Peroksida organik
- Zat yang korosif terhadap logam

Bahaya Kesehatan

- Toksisitas akut
- Korosi atau iritasi kulit
- Kerusakan mata atau iritasi mata parah
- Sensitisasi pernapasan atau kulit
- Mutagenisitas sel kuman
- Karsinogenisitas
- Toksikologi reproduktif
- Toksisitas sistemik organ target—paparan tunggal
- Toksisitas sistemik organ target—paparan tunggal
- Bahaya hirupan

Bahaya Lingkungan

- Berbahaya untuk lingkungan perairan
    - Toksisitas perairan akut
    - Toksisitas perairan kronis
        - Potensi bioakumulasi
        - Penguraian cepat

Selain persyaratan pemberian label, GHS mewajibkan format standar untuk Lembar Data Keselamatan (Safety Data Sheet, SDS) yang menyertai bahan kimia berbahaya. SDS harus berisi minimal 16 elemen:

- Identifikasi zat
- Identifikasi bahaya
- Komposisi, informasi zat-zat penyusun
- Tindakan pertolongan pertama
- Tindakan pemadaman api
- Tindakan pelepasan tak disengaja
- Penanganan dan penyimpanan
- Kendali paparan, perlindungan diri
- Sifat fisik dan kimia

- Kestabilan dan kereaktifan
- Informasi toksikologis
- Informasi ekologis
- Pertimbangan pembuangan
- Informasi pengangkutan
- Informasi peraturan
- Informasi lainnya

Pegawai laboratorium harus menggunakan informasi dalam SDS dan label wadah untuk mengembangkan kebijakan keselamatan dan tanggap darurat yang sesuai untuk lab.

		
• Pengoksidasi	• Mudah terbakar • Swa-reaktif • Piroforik • Menyala Sendiri • Menghasilkan Gas yang Mudah Terbakar • Peroksida Organik	• Eksplosif • Swa-reaktif • Peroksida Organik
		
• Toksisitas Akut	• Korosif	• Gas Di Bawah Tekanan
		
• Karsinogen • Pemeka Pernapasan • Toksisitas Reproduktif • Toksisitas Organ Target • Mutagenisitas • Toksisitas Penghirupan	• Iritan • Pemeka Kulit • Toksisitas Akut (bahaya) • Efek Narkotika • Saluran Pernapasan • Iritasi	• Toksisitas Lingkungan

GAMBAR B.1 Piktogram GHS untuk melabeli wadah bahan kimia berbahaya.

SUMBER: Lihat "Sistem Harmonisasi Global tentang Klasifikasi dan Pelabelan Bahan Kimia" *http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_welcome_e.html*

C

C.1. Jenis Program Inspeksi

Ada beberapa jenis program inspeksi, masing-masing memberikan perspektif dan fungsi berbeda. Program inspeksi yang menyeluruh meliputi beberapa atau seluruh jenis berikut.

Inspeksi Rutin

Semua pegawai laboratorium harus sering melakukan inspeksi peralatan umum dan fasilitas secara rutin. Inspeksi harian mungkin sesuai untuk peralatan yang digunakan terus menerus, seperti kromatograf gas. Peralatan lainnya yang tidak begitu sering digunakan mungkin hanya memerlukan inspeksi mingguan atau bulanan atau inspeksi sebelum penggunaan. Pasang catatan inspeksi pada peralatan atau di tempat terdekat yang mudah terlihat. Dorong semua pegawai untuk mengembangkan kebiasaan inspeksi.

Audit Program

Audit program meliputi inspeksi fisik dan tinjauan pengoperasian dan fasilitas. Jenis audit ini umumnya diadakan oleh tim, yang mungkin meliputi supervisor laboratorium, manajemen senior, dan perwakilan keselamatan laboratorium.

Audit dapat dimulai dengan mendiskusikan program dan budaya keselamatan, menelaah pengoperasian, menelaah program tertulis dan catatan pelatihan, serta menelaah kebijakan dan prosedur terkait dan cara penggunaannya di

dalam laboratorium. Audit ini diikuti dengan inspeksi laboratorium dan wawancara dengan pegawai laboratorium terlatih untuk menentukan tingkat kesadaran keselamatan. Audit juga meliputi diskusi terbuka tentang bagaimana pekerja, supervisor, manajer, dan petugas keselamatan dapat saling mendukung dengan lebih baik. Jenis audit ini memberikan pandangan yang jauh lebih menyeluruh tentang laboratorium dibanding inspeksi rutin sederhana.

Inspeksi Sejawat

Salah satu alat keselamatan paling efektif adalah inspeksi tingkat sejawat secara berkala. Orang yang menunaikan peran ini bekerja di lembaga tetapi tidak di area yang disurvei. Orang-orang itu bisa sukarela atau dipilih dan dapat berfungsi secara ad hoc atau sebagai bagian kelompok kerja formal, seperti "komite keamanan." Inspeksi sejawat sangat bergantung pada pengetahuan dan komitmen petugas inspeksinya. Petugas inspeksi sejawat harus bekerja dalam rentang waktu yang panjang sehingga mendapatkan pengetahuan yang cukup tentang operasi yang diamati dan memberi komentar yang membangun tetapi tidak terlalu lama agar tidak kehilangan tingkat ketelitian yang diinginkan.

Keunggulan program inspeksi sejawat adalah dianggap tidak begitu mengancam dibanding bentuk survei atau audit lainnya. Program inspeksi sejawat yang berkualitas tinggi bisa mengurangi perlunya inspeksi sering oleh supervisor, tetapi tidak boleh sepenuhnya menggantikan inspeksi lainnya.

Inspeksi Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan

Staf kesehatan dan keselamatan lingkungan lembaga, komite keselamatan, atau kelompok yang setara juga dapat mengadakan inspeksi laboratorium secara rutin. Inspeksi ini dapat bersifat menyeluruh; ditargetkan untuk operasi atau eksperimen tertentu; fokus pada jenis inspeksi tertentu, seperti peralatan dan sistem keselamatan; atau "audit" untuk memeriksa pekerjaan petugas inspeksi lainnya. Insinyur fasilitas atau pegawai pemeliharaan juga dapat berpartisipasi dalam program inspeksi keselamatan.

Swa-Audit

Beberapa lembaga telah melatih pegawai laboratorium untuk melakukan swa-audit demi keuntungannya sendiri. Lembaga juga dapat meminta pegawai untuk melakukan inspeksi sendiri, menulis laporan, dan menggunakan inspeksi rutin sebagai pemeriksaan pada swa-audit. Pendekatan ini menguntungkan semua orang dengan

meningkatkan kewaspadaan, mendorong budaya keselamatan lembaga, dan meringankan beban manajemen.

Inspeksi oleh Badan Eksternal

Berbagai jenis inspeksi atau audit pilihan dapat dilakukan oleh ahli dari luar, agen peraturan, lembaga penanggulangan keadaan darurat, atau organisasi lainnya. Mereka dapat menginspeksi fasilitas, peralatan, atau prosedur tertentu, baik selama fase desain pra-eksperimen atau selama pengoperasian. Inspeksi oleh kelompok peraturan atau pemerintah kota, misalnya pemadam kebakaran, menawarkan peluang untuk membangun hubungan dengan agen pemerintah dan masyarakat. Acara open house atau undangan yang ditargetkan untuk orang atau kelompok tertentu dapat membantu membangun hubungan dengan masyarakat. Inspeksi dan audit oleh konsultan luar atau lembaga sejawat akan sangat membantu dalam mengidentifikasi praktik terbaik dan kerentanan. Cara ini juga menguntungkan secara ekonomis.

C.2. Unsur Inspeksi

Menyiapkan Inspeksi

Diumumkan atau tidaknya inspeksi tergantung tujuannya. Inspeksi yang diumumkan membantu petugas inspeksi berinteraksi dengan pegawai terlatih dan membuat pemeriksaan terasa seperti layanan nilai tambah, bukannya tindakan "polisi keselamatan". Tetapi, jika tujuannya adalah untuk mengamati keadaan "sebenarnya" dalam persiapan inspeksi peraturan, akan sesuai jika inspeksi yang ditargetkan tidak diumumkan.

Sebelum inspeksi, miliki daftar periksa butir-butir inspeksi, bersama kriteria dan landasan untuk masing-masing masalah. Berbagi daftar periksa dengan pegawai terlatih sebelum inspeksi akan sangat membantu, sehingga mereka dapat melakukan swa-audit sebelum dan sesudah inspeksi. Ambil gambar untuk membantu menunjukkan masalah yang memerlukan perhatian kepada pegawai.

Daftar Periksa Inspeksi

Daftar periksa inspeksi mungkin memiliki berbagai format dan panjangnya beragam tergantung jenis dan fokus inspeksi. Masing-masing butir inspeksi harus berupa pertanyaan YA atau TIDAK. Berikan pertanyaan yang hasil positifnya ditandai YA, sehingga masalahnya mudah ditemukan. Selalu beri ruang untuk komentar. Cari produk komersial untuk aplikasi yang sesuai untuk komputer, personal digital assistant (PDA), dan perangkat genggam lainnya. Produk ini dapat membantu membuat proses pelaporan makin efektif.

Melakukan Inspeksi

Petugas inspeksi harus melakukan tugas berikut.

- Berinteraksi dengan pegawai laboratorium. Pegawai terlatih dapat memberikan banyak informasi, sekaligus memberi umpan balik tentang program pelatihan dan keselamatan.
- Mencatat dan menulis komentar pada formulir inspeksi untuk memberi rincian tentang masalah pada laporan. Memotret masalah yang memerlukan perhatian tertentu.

- Menunjukkan masalah dan menunjukkan cara memperbaikinya kepada pekerja laboratorium. Jika masalah diperbaiki saat inspeksi, maka harus dicatat dalam laporan.

Laporan Inspeksi

Petugas inspeksi harus menyiapkan laporan sesegera mungkin setelah inspeksi dan memberikannya kepada manajer laboratorium dan lainnya, misalnya petugas keselamatan dan keamanan kimia (chemical safety and security officer, CSSO) atau pimpinan maupun manajer departemen. Para individu penting mungkin ingin bertemu untuk menelaah temuan.

Laporan harus mencakup

- semua masalah yang ditemukan saat inspeksi, bersama kriteria untuk memperbaikinya;
- foto apa pun yang diambil;
- catatan semua praktik terbaik atau perbaikan yang dilakukan sejak inspeksi terakhir; dan
- jadwal yang masuk akal untuk tindakan perbaikan.

Petugas inspeksi harus menindaklanjuti bersama laboratorium dan menawarkan dukungan guna membantu menemukan solusi wajar untuk masalah apa pun.

Tindakan Perbaikan

Dalam banyak kasus, laboratorium akan melakukan tindakan perbaikan yang sesuai. Jika laboratorium tidak melakukan perubahan yang diperlukan, lembaga harus menentukan langkah yang harus diambil untuk individu yang menerapkan praktik kerja tidak aman atau tidak mematuhi kebijakan lembaga atau peraturan eksternal.

C.3. Butir-butir yang Dicakup dalam Inspeksi

Daftar berikut adalah beberapa di antaranya, tidak menyeluruh. Tergantung laboratorium dan jenis pekerjaan yang dilakukan, butir lain dapat dijadikan target inspeksi.

- Peralatan pelindung diri yang diperlukan tersedia dan digunakan secara terus menerus dan dengan benar (msl., jas laboratorium, sarung tangan, kaca mata keselamatan, kaca mata, pelindung wajah).
- Tabung gas yang dimampatkan diamankan dengan benar. Tabung ditutup jika tidak dihubungkan untuk digunakan. Digunakan regulator yang sesuai.
- Persyaratan sudah ditetapkan tentang tempat-tempat yang diperbolehkan untuk makan dan minum.
- Persyaratan yang membatasi akses sepanjang hari ke laboratorium telah ditentukan.
- Kabel listrik tidak dipasang di tempat yang memungkinkan terjadinya tumpahan bahan yang mudah terbakar. Kabel dalam kondisi baik dan tidak menampilkan tanda keausan berlebih (robek, tidak terjepit).
- Tudung laboratorium telah diuji dan beroperasi. Informasi inspeksi terlihat. Tudung digunakan dengan benar, dan pekerjaan dilakukan 6 inci (15 cm) di dalam permukaan tudung. Peralatan besar tidak mempengaruhi aliran udara secara signifikan.
- Pecah belah vakum diinspeksi dan dipertahankan dalam kondisi baik. Bejana reaksi bertekanan dengan pelepas tekanan dan kemampuan pengukuran suhu atau tekanan digunakan untuk reaksi bertekanan tinggi.
- Klasifikasi kesehatan bahan dilakukan (terutama untuk entitas molekul tak dikenal). Praktik kerja dan perangkat pengaman terkait menurut klasifikasi bahaya atau risiko bahan diikuti (msl., bahan berbahaya rendah, berbahaya, sangat berbahaya dan persyaratan terkait untuk penggunaan kotak berventilasi, pembuangan sampah, pelabelan area kerja dengan bahan sangat berbahaya, dekontaminasi permukaan kerja).
- Akses ke peralatan keadaan darurat (msl., pancuran keselamatan, unit pencuci mata, pemadam api) tidak terhalang dan peralatan dipertahankan dalam urutan kerja yang baik. Jarak bebas minimal ke kepala sprinkler, seperti yang diperlukan oleh undang-undang gedung dan kebakaran setempat, dipertahankan.

- Bahan kimia disimpan dan dipisahkan dengan baik (msl., zat yang mudah terbakar, asam kuat, basa kuat, peroksida).
- Pegawai dapat menunjukkan kemampuan untuk mengakses Lembar Data Keselamatan Bahan dan pengetahuan persyaratan penanganan untuk berbagai klasifikasi bahan.
- Pengaman pada mesin berputar dan perangkat bersuhu tinggi tersedia dan bekerja dengan baik. Sakelar keselamatan dan pemberhentian darurat bekerja dengan baik.
- Koridor terkait jalan keluar tidak terhalang dan jalan keluar minimal yang diwajibkan oleh undang-undang gedung dan kebakaran dipertahankan. Bahan dan peralatan yang mudah terbakar yang berlebih dipindahkan dari jalan keluar.

D

D.1. Pertimbangan Rancangan untuk Casework, Perabotan, dan Etalase

Casework, Perabotan, dan Peralatan Tetap

Gunakan casework logam, jangan gunakan pelapis plastik atau kayu. Bahan harus mudah dibersihkan dan tidak rentan terhadap karat. Untuk ruang yang bersih, polipropilena atau stainless steel mungkin lebih disukai. Pastikan permukaan kerja tahan bahan kimia, halus, dan mudah dibersihkan.

Daerah kerja, termasuk komputer, harus menggunakan fitur ergonomis, seperti ketersesuaian, lampu kerja, dan tata letak peralatan yang nyaman. Pastikan ada ruang yang memadai untuk ventilasi dan pendinginan komputer serta alat elektronik lainnya.

Tempat cuci tangan utamanya untuk bahan berbahaya mungkin memerlukan siku atau kendali elektronik. Jangan memasang cupsink lebih banyak dari jumlah yang diperlukan agar perangkap pengering tidak berbau.

Lantai

Lab basah harus memiliki lantai berpelapis yang tahan bahan kimia. Bahan berbentuk lembaran biasanya lebih dipilih daripada ubin lantai karena ubin lantai bisa longgar atau pecah seiring waktu, khususnya di dekat tudung laboratorium dan wastafel.

Pintu, Jendela, dan Dinding

Lapisi dinding sedemikian rupa sehingga mudah dibersihkan dan dipelihara. Undang-undang kebakaran mengharuskan pintu, rangka, dan dinding tahan api.

Pintu harus memiliki panel kaca. Jendela-jendela ini mencegah terbukanya pintu ke orang yang ada di sisi satunya, dan memungkinkan orang melihat ke dalam laboratorium jikalau terjadi kecelakaan atau cedera.

Jendela di laboratorium harus ditutup jika ada tudung laboratorium atau sistem ventilasi lokal lainnya yang beroperasi di dalam fasilitas. Jendela dapat dibuka jika tidak ada sistem ventilasi dan bahan kimia berbahaya tidak digunakan, misalnya di laboratorium pengajaran.

D.2. Kendali Teknik Laboratorium untuk Perlindungan Diri

Ventilasi laboratorium umum biasanya diatur untuk menyediakan 6 sampai 12 pergantian udara ruangan per jam (Tabel D.1). Mungkin diperlukan lebih banyak aliran udara untuk mendinginkan laboratorium dengan muatan panas internal yang tinggi, misalnya laboratorium dengan peralatan analitis; untuk membantu laboratorium dengan kebutuhan sistem pembuangan khusus yang besar; atau untuk laboratorium dengan kerapatan tudung laboratorium maupun perangkat ventilasi buang lokal lain yang tinggi. Di semua kasus, udara harus mengalir dari kantor, koridor, dan ruang pendukung ke laboratorium. Semua udara dari laboratorium harus dibuang ke luar dan tidak diresirkulasi. Karena itu, tekanan udara di dalam laboratorium harus negatif terhadap seluruh gedung. Tempatkan saluran udara luar masuk ke gedung laboratorium di suatu tempat yang mengurangi kemungkinan masuknya kembali gas buang laboratorium atau kontaminan dari sumber lain, seperti area pembuangan sampah dan tempat bongkar muat.

Meskipun menyediakan pengenceran gas, uap, aerosol, dan debu beracun, sistem pasokan hanya memberi perlindungan rendah, terutama jika pencemar dilepaskan ke laboratorium dalam jumlah signifikan. Operasi yang dapat melepaskan racun ini, seperti menjalankan reaksi, memanaskan atau menguapkan larutan, dan memindahkan bahan kimia dari satu wadah ke wadah lain, biasakan untuk dilakukan dalam tudung laboratorium. Peralatan laboratorium yang dapat melepaskan uap beracun, seperti pembuangan pompa vakum, port keluaran kromatograf gas, kromatograf cairan, dan kolom distilasi, harus dikeluarkan ke perangkat buang seperti belalai gajah.

TABEL D.1 Kendali Teknik Laboratorium untuk Perlindungan Diri

Jenis Ventilasi	Jumlah Umum Pertukaran Udara	Contoh Penggunaan
Ventilasi lab umum	6 sampai 12 pertukaran udara per jam, tergantung rancangan lab dan pengoperasian sistem	Bahan kimia yang tidak mudah menguap, bahan yang tidak berbahaya, sejumlah amat kecil bahan berbahaya
Ruangan lingkungan	Pergantian udara nol	Bahan yang memerlukan kendali lingkungan khusus, bahan kimia yang mudah terbakar, beracun, atau reaktif dalam jumlah yang tidak berbahaya
Tudung kimia laboratorium	10 sampai 15 pergantian udara per menit	Bahan yang mudah terbakar, beracun, atau reaktif, hingga 10,000 kali konsentrasi yang diketahui berbahaya; produk atau campuran dengan bahaya tidak diketahui
Lemari penyimpanan yang tidak berventilasi	Pergantian udara nol	Cairan mudah terbakar (jika dilengkapi dengan penahan nyala), bahan korosif, bahan kimia beracun sedang
Lemari penyimpanan berventilasi	1 sampai 2 pergantian udara per jam	Bahan kimia yang sangat beracun atau berbahaya
Lemari biokeselamatan yang beresirkulasi	Pergantian udara nol untuk bahan kimia, banyak untuk partikel	Bahan biologis yang digunakan dalam proses yang dapat membentuk aerosol, nanopartikel
Kotak sarung tangan	Beragam mulai sangat rendah hingga sangat tinggi, tergantung kotak sarung tangan dan aplikasinya	Lingkungan khusus bertekanan-positif, bahan yang sangat beracun bertekanan-negatif

D.3. Tudung Laboratorium

Kecepatan Muka Tudung Laboratorium

Kecepatan rata-rata udara yang masuk melalui muka tudung disebut *kecepatan muka*. Kecepatan muka tudung sangat mempengaruhi efisiensi daya tampungnya, atau kemampuan tudung menampung zat berbahaya. Kecepatan muka yang terlalu rendah atau terlalu tinggi akan mengurangi efisiensi perangkat pengaman tudung. Untuk tudung tradisional, kecepatan muka yang dianjurkan adalah antara 0,41 dan 0,51 meter per detik (m/s). Kecepatan muka antara 0,51 dan 0,61 m/s dapat digunakan untuk zat dengan toksisitas sangat tinggi atau jika pengaruh dari luar memperburuk kinerja tudung. Jangan menggunakan kecepatan muka mendekati atau lebih dari 0,76 m/s, karena dapat menyebabkan turbulensi di sekitar keliling bukaan daun jendela dan benar-benar mengurangi efisiensi penangkapan tudung laboratorium.

Tentukan kecepatan muka rata-rata dalam salah satu dari dua cara. Cara pertama adalah mengukur masing-masing titik di seluruh bidang daun jendela dan menghitung rata-ratanya. Cara lain adalah mengukur laju alir volume tudung dengan tabung pitot dalam saluran buang dan membagi laju ini dengan luas muka yang terbuka. (Ingat bahwa metode terakhir tidak mengidentifikasi titik tinggi atau rendah kecepatan muka di seluruh permukaan, yang dapat memungkinkan pelepasan kontaminan berturut-turut karena rendahnya aliran udara atau turbulensi.)

Verifikasi perangkat pengaman menggunakan salah satu teknik visualisasi aliran pada pengujian tudung laboratorium (lihat di bawah ini). Masing-masing tudung, laboratorium, fasilitas, atau lokasi harus menentukan rata-rata kecepatan muka yang dapat diterima, kecepatan titik minimal yang diterima, standar deviasi kecepatan maksimal, dan apakah pengujian visualisasi diperlukan. Selanjutnya persyaratan ini harus digabungkan ke rencana kesehatan kimia laboratorium dan/atau rencana manajemen sistem ventilasi.

Rancangan dan Konstruksi Tudung Laboratorium

Saat menentukan tudung laboratorium untuk penggunaan dalam kegiatan tertentu, pegawai laboratorium terlatih harus mengetahui semua fitur desain tudung. Dapatkan bantuan dari ahli kesehatan industri, insinyur ventilasi, atau konsultan laboratorium saat memutuskan untuk membeli tudung laboratorium.

Pilih tudung laboratorium dan saluran buang terkait yang terbuat dari bahan yang tidak mudah terbakar. Keduanya harus dilengkapi dengan daun jendela vertikal,

horizontal, atau kombinasi vertikal-horizontal yang dapat ditutup. Kaca di dalam daun jendela harus berupa kaca keselamatan yang dilaminasi dengan ketebalan paling sedikit 0,55 cm (7/32 inci) atau bahan keselamatan lainnya yang tidak akan pecah jika terjadi ledakan di dalam tudung. Letakkan katup kendali utilitas, stop kontak listrik, dan fiting listrik lainnya di luar tudung untuk meminimalkan masuknya tangan ke dalam tudung. Spesifikasi lainnya terkait bahan konstruksi, persyaratan perpipaan, dan desain interior akan beragam, tergantung maksud penggunaan tudung.

Meski paling umum digunakan untuk mengontrol konsentrasi uap beracun, tudung juga dapat digunakan untuk mengencerkan dan membuang uap yang mudah terbakar. Meski secara teoretis mungkin terjadi, sangat mustahil (bahkan dalam skenario kasus paling buruk sekali pun) bahwa konsentrasi uap yang mudah terbakar akan mencapai ambang ledakan atas (lower explosive limit, LEL) dalam saluran buang. Tetapi, di antara saluran keluar sumber dan saluran keluar buang pada tudung, konsentrasi akan melampaui ambang ledakan bawah (upper explosive limit, UEL) dan LEL sebelum diencerkan sepenuhnya di saluran keluar. Baik perancang maupun pengguna tudung harus menyadari bahaya ini dan mengurangi kemungkinan sumber penyalaan di dalam tudung dan salurannya jika ada potensi ledakan. Penggunaan sprinkler saluran atau metode pemampatan lainnya di dalam pekerjaan saluran laboratorium tidak diperlukan, atau diinginkan, dalam sebagian besar situasi. Tetapi, dalam situasi terbatas, hal ini mungkin diharuskan oleh Undang-undang Mekanik Internasional, seperti IMC 510.

Jenis Aliran Udara Tudung Asap

- Volume udara konstan (Constant air volume, CAV)
- Volume udara variabel (Variable air volume, CAV)
- Non-bypass
- Bypass
- Udara tambahan
- Tanpa saluran

Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Tudung Laboratorium

- Kedekatan dengan lalu lintas
- Kedekatan dengan pembaur udara pasokan
- Kedekatan dengan jendela dan pintu
- Kedekatan dengan kipas langit-langit

Pemeriksaan Kinerja Tudung Laboratorium

Periksa apakah tudung bekerja dengan baik menggunakan panduan berikut.

- Evaluasi masing-masing tudung sebelum digunakan dan secara teratur (setidaknya satu kali setahun) untuk memastikan bahwa kecepatan muka memenuhi kriteria yang telah ditentukan dalam rencana kesehatan bahan kimia (lihat "Kecepatan Muka Tudung Laboratorium" di atas).
- Pastikan tidak ada turbulensi berlebih.
- Pastikan tersedia perangkat pemantauan berkelanjutan untuk kinerja tudung yang memadai, dan periksa setiap kali tudung digunakan.

Pengujian dan Verifikasi

Adakan pengujian kinerja berkala setiap tahun yang terdiri dari analisis kecepatan muka dan visualisasi aliran menggunakan tabung asap, bom, atau generator kabut. Pegawai laboratorium terlatih harus meminta evaluasi kinerja tudung laboratorium kapan pun ada perubahan dalam aspek sistem ventilasi apa pun. Perubahan dalam volume total pasokan udara atau di lokasi pembaur udara pasokan, atau penambahan perangkat ventilasi lokal bantu lainnya (msl., lebih banyak tudung, lemari berventilasi, snorkel), semuanya menuntut evaluasi ulang kinerja dari semua tudung di dalam laboratorium.

Evaluasi kinerja terhadap spesifikasi desain untuk aliran udara yang sama di seluruh permukaan tudung, juga untuk total volume udara buang. Hal yang sama pentingnya adalah evaluasi paparan operator. Langkah-langkah evaluasi kinerja tudung adalah sebagai berikut.

1. Gunakan tabung asap atau perangkat serupa untuk menentukan bahwa tudung menyala dan mengalirkan udara.
2. Ukur kecepatan aliran udara di permukaan tudung.
3. Tentukan kesamaan aliran udara ke permukaan tudung dengan melakukan serangkaian pengukuran kecepatan muka yang diambil dalam pola grid.

D.4. Pemeliharaan Sistem Ventilasi

Bahkan sistem ventilasi terbaik yang dibuat dan dipasang dengan paling hati-hati pun memerlukan pemeliharaan rutin. Beberapa sistem ventilasi laboratorium menjadi sangat kompleks sehingga mungkin merupakan gagasan yang bagus jika memiliki tim khusus staf fasilitas yang berdedikasi pada pemeliharaan sistem.

- Inspeksi dan pelihara semua sistem kendali dan keselamatan lingkungan terkait fasilitas secara teratur, termasuk kendali tekanan tudung laboratorium dan tekanan ruang, alarm kebakaran dan asap, serta alarm dan monitor khusus untuk gas.
- Evaluasi setiap laboratorium secara berkala untuk mengetahui kualitas dan kuantitas ventilasi umumnya dan setiap kali dilakukan perubahan, baik pada sistem ventilasi umum untuk gedung atau pada beberapa aspek ventilasi lokal di dalam laboratorium. Jalur aliran udara ke dan di dalam ruangan dapat ditentukan dengan mengamati pola asap. Tidak boleh ada area yang memungkinkan udara tetap statis atau memiliki kecepatan aliran udara sangat tinggi. Jika ditemukan area stagnan, hubungi insinyur ventilasi, dan lakukan perubahan yang sesuai pada sumber pasokan atau buang untuk memperbaiki kekurangannya.
- Kecepatan udara yang dibuang dari fasilitas laboratorium harus sebanding dengan kecepatan saat udara pasokan masuk ke gedung. Jumlah pertukaran udara per jam di dalam laboratorium dapat diperkirakan dengan membagi total volume laboratorium (dalam meter kubik) dengan kecepatan keluarnya udara buang (dalam meter kubik per detik). Untuk setiap lubang pembuangan (msl., tudung), hasil kali luas muka (dalam meter persegi) dengan rata-rata kecepatan muka (dalam meter per detik) akan menghasilkan kecepatan pembuangan untuk sumber tersebut (dalam meter kubik per detik). Jumlah kecepatan untuk semua sumber pembuangan di laboratorium menghasilkan kecepatan total keluarnya udara dari laboratorium. Berkurangnya kecepatan aliran udara pasokan (mungkin untuk menghemat energi) mengurangi jumlah pertukaran udara per jam di dalam laboratorium, kecepatan muka tudung, dan kecepatan penangkapan semua sistem ventilasi lokal lainnya.
- Aliran udara biasanya diukur dengan anemometer atau velometer suhu. Alat ini tersedia dari perusahaan pasokan keselamatan atau rumah pasokan laboratorium. Kalibrasi dan penggunaan alat ini dengan benar dan evaluasi data adalah disiplin yang berbeda. Konsultasikan dengan

ahli kesehatan industri atau insinyur ventilasi jika diduga terjadi masalah ventilasi serius atau saat diperlukan keputusan tentang perubahan yang sesuai pada sistem ventilasi untuk meraih keseimbangan yang tepat antara udara pasokan dan udara buang.

- Semua sistem ventilasi harus memiliki perangkat yang memungkinkan pengguna memantau apakah seluruh sistem dan komponen pentingnya berfungsi dengan baik. Manometer, indikator tekanan, dan perangkat lainnya yang mengukur tekanan statis di dalam saluran udara terkadang digunakan untuk mengurangi perlunya mengukur aliran udara secara manual. Perangkat "telltale" dan perangkat sederhana lainnya yang serupa juga bisa berfungsi sebagai indikator aliran udara. Tentukan perlunya dan jenis perangkat pemantauan untuk masing-masing kasus. Jika zat kimia memiliki sifat peringatan sangat baik dan konsekuensi paparan berlebih minimal, sistem tidak akan memerlukan kendali yang begitu ketat dibandingkan jika zat tersebut sangat beracun atau memiliki properti peringatan yang buruk.

E

E.1. Mengembangkan Penilaian Kerentanan Keamanan Menyeluruh

Penilaian Kerentanan Keamanan (Security Vulnerability Assessment, SVA) bisa mencakup seluruh lembaga atau fasilitas tertentu di suatu lembaga. Penilaian ini melibatkan serangkaian investigasi dan analisis terpadu. Tujuan SVA adalah mendaftar potensi risiko laboratorium dan menentukan besarnya risiko serta menilai kecukupan sistem yang diterapkan. SVA membantu Anda memutuskan kebutuhan perencanaan keamanan fasilitas dan harus meliputi item berikut:

- Evaluasi aset
- Penilaian ancaman
- Survei dan analisis lokasi
- Survei kerentanan fisik

Evaluasi Aset

Investigasi ini mengidentifikasi dan mengungkapkan jumlah aset berharga—seperti peralatan, instrumen, perpustakaan, dan dokumen—yang harus dilindungi agar tidak hilang atau rusak karena kecelakaan, bencana alam, atau pencurian maupun pengrusakan oleh orang yang bermaksud buruk. Evaluasi harus meliputi informasi tentang sumber penggantian dan sumber daya alternatif di lembaga atau di tempat mana pun yang dapat memungkinkan keberlanjutan operasi.

Penilaian Ancaman

Ini menentukan jenis ancaman yang mungkin terjadi pada lembaga dan fasilitas tertentu. Ancaman dapat bersifat generik atau spesifik di satu tempat, mulai bencana alam hingga serangan teroris. Selama memungkinkan, penilaian ancaman harus menjelaskan kelompok atau individu lawan dan motivasi ideologis dan ekonominya; anggota dan pendukungnya; kepemimpinan dan karakteristik organisasi; catatan kegiatan ilegal atau mengganggu; modus tindakan yang mereka sukai dan potensi kemampuan untuk menyerang target; dan hal yang biasanya ingin mereka sampaikan kepada masyarakat dan bagaimana mereka melakukannya. Tetapi, lembaga harus berhati-hati untuk mematuhi undang-undang di dalam negara mereka yang melindungi privasi pribadi. Uraikan secara rinci kemungkinan serangan atau tindakan terhadap lembaga dan fasilitasnya.

Perkirakan juga dampak bencana alam, termasuk angin, air, api, kebakaran, gempa bumi, dan kejadian berdampak luas, seperti yang terjadi saat topan, badai, tornado, gempa bumi, tsunami, dan ledakan gunung berapi. Buat skenario terbaik dan terburuk untuk memperkirakan ukuran potensi keparahan kejadian alami maupun berbahaya.

Survei dan Analisis Lokasi

Bagian dari SVA ini khusus untuk fasilitas fisik yang tercakup dalam kebijakan keamanan dan akses fasilitas. Gambar fitur lembaga terbaru, lalu lintas kendaraan dan pejalan kaki, tempat dan tanah lapang, dan gedung adalah sumber daya yang penting untuk investigasi ini. Lakukan tur menyusuri gedung tertentu yang menggunakan atau menyimpan bahan kimia, begitu pula seluruh lembaga. Dokumentasikan inspeksi ini dengan foto atau video kondisi tertentu.

Penting untuk menginvestigasi semua daerah dan semua sisi integritas lokasi gedung terkait gangguan cuaca dan fisik. Sertakan inspeksi di atap dan perluasan di bawah permukaan tanah, terowongan, rute utilitas, dan titik masuk ke gedung. Analisis juga lokasi saluran masuk udara untuk ventilasi mekanis dan alami serta lokasi dan kondisi elemen penyimpanan untuk bahan kimia dan bahan berbahaya lainnya.

Survei dan analisis lokasi harus disertai rencana lalu lintas kendaraan yang menyoroti area untuk pengiriman bahan, rute truk, tempat parkir, dan pintu masuk dan keluar gedung. Analisis tempat harus mengatasi pola kendaraan dan pejalan kaki selama jangka waktu 24 jam pada hari kerja dan akhir pekan normal; perlindungan fisik dan fitur keamanan; penggunaan gedung; dan orang yang mendapat izin akses. Kajian yang begitu menyeluruh itu diperlukan untuk memungkinkan survei kerentanan fisik yang akurat. Survei tempat membantu menerapkan prosedur deteksi, penundaan, dan

sistem penilaian untuk melindungi aset fisik dan pengoperasian yang dapat terganggu atau disabotase.

Survei Kerentanan Fisik

Survei kerentanan fisik meliputi beberapa jenis investigasi, dalam batas kerangka hukum setempat. Survei mencakup komponen berikut:

- Mengidentifikasi potensi target dan akses ke target tersebut.
- Mengidentifikasi dan memberi peringkat potensi ancaman menurut konteks historis. Misalnya, ancaman yang telah terjadi lebih signifikan dibanding ancaman yang baru pertama kali terjadi. Hal ini terkait dengan kedua ancaman alami, seperti kemungkinan banjir, dan tindakan berbahaya.
- Mengidentifikasi karyawan, siswa, kontraktor, vendor, dan pengunjung yang mungkin memiliki masalah atau konflik pribadi dengan lembaga dan yang mungkin dapat mengidentifikasi kerentanan fasilitas fisik internal dan mendapat akses ke fasilitas.

Pertimbangkan berbagai pertanyaan dalam survei kerentanan.

- Apa potensi target yang dapat diketahui dengan jelas dengan sedikit atau tanpa pengetahuan?
- Apakah potensi target fasilitas menyimpan bahan kimia?
- Apa saja kuantitas, konsentrasi, dan bahaya bahan kimia yang dapat terlibat dalam masing-masing potensi target?
- Apa saja potensi pelepasan bahan kimia di luar laboratorium atau penggunaan bahan kimia secara ilegal?
- Apa saja tindakan perlindungan fisik yang diterapkan untuk mengurangi bahaya yang dapat terjadi karena pelepasan atau tumpahan bahan kimia?

Rancanglah matriks atau alat analitik lainnya untuk memperkirakan efek masing-masing skenario dalam analisis ancaman. Tingkat keparahan akan membantu keseluruhan analisis risiko. Untuk skenario terburuk, perkirakan

- berapa banyak orang yang akan terpengaruh;
- berapa kerugian uang dari properti tersebut;
- berapa uang dan waktu yang diperlukan untuk memperoleh fasilitas pengganti;
- apa saja kerugian produktivitas dan periode penghentian operasi serta pemulihannya; dan
- berapa nilai kepercayaan masyarakat, dukungan, dan citra yang akan hilang.

Mengembangkan Rencana Keamanan Lokasi

Rencana keamanan lokasi yang menyeluruh mengintegrasikan semua informasi yang didapat dalam analisis, survei, dan investigasi yang disebutkan di atas. Rencana ini mengatasi panduan keamanan dan penanggulangan keadaan darurat di tempat kerja. Rencana keamanan lokasi menyediakan strategi perlindungan fisik untuk mendeteksi, menunda, dan menanggapi dengan cepat dan efektif guna menghentikan, mencegah, atau mengurangi ancaman niat jahat maupun bencana alam. Metode dalam domain publik (seperti Responsible Care (Kepedulian yang Bertanggung Jawab), Cefic—European Chemical Industry Council (Dewan Industri Kimia Eropa), International Union of Pure and Applied Chemistry (Uni Internasional Kimia Murni dan Terapan), dan International Organization of Standardization (Organisasi Standarisasi Internasional)) menguraikan banyak pendekatan untuk mengembangkan rencana yang memenuhi tujuan kebijakan keamanan lembaga.

Lembaga dapat mempertimbangkan untuk menerapkan konsep pencegahan kejahatan melalui desain lingkungan yang hemat biaya, seperti semak pembatas dan tanaman lainnya. Pertimbangkan juga peningkatan sistemik yang tidak hanya bergantung pada teknologi, misalnya menggunakan penjaga keamanan tambahan. Kebijakan keamanan dan kendali akses harus menjadi dasar rencana keamanan lokasi.

F

F.1. Menilai Jalur Pemaparan Bahan Kimia Beracun

Kelarutan

Bahan beracun yang memasuki tubuh melalui penghirupan meliputi gas, uap dari cairan yang mudah menguap, kabut dan semprotan baik zat cair yang mudah menguap maupun yang tidak, dan bahan kimia padat dalam bentuk partikel, serat, dan debu. Penghirupan gas dan uap beracun menyebabkan keracunan dengan penyerapan melalui membran mukosa mulut, tenggorokan, dan paru-paru serta sangat merusak jaringan setempat yang terkena. Paru-paru adalah organ utama untuk penyerapan banyak bahan beracun. Gas dan uap yang dihirup memasuki kapiler paru-paru dan dibawa ke sistem peredaran, di mana penyerapan terjadi dengan sangat cepat.

Di bawah ini adalah daftar faktor yang mempengaruhi bagaimana bahan yang terhirup diserap oleh tubuh.

- **Kelarutan:** Gas atau uap yang mudah larut dalam air melarut sebagian besar di lapisan hidung, tenggorokan (trakea), dan saluran-saluran lebih kecil di jalan pernapasan. Gas dan uap yang lebih mudah larut dalam lemak memasuki jalan pernapasan ke dalam paru-paru, kemudian memasuki darah dan dibawa ke organ lainnya.
- **Ukuran:** Partikel terkecil zat yang dihirup (skala nanometer hingga mikrometer) diserap oleh paru-paru dan dapat tersimpan untuk jangka waktu lama tergantung daya larutnya.
- **Tekanan uap:** Semakin tinggi tekanan uap, semakin besar potensi konsentrasi bahan kimia di udara. Bahkan bahan kimia dengan tekanan

uap sangat rendah juga berbahaya jika bahan itu sangat beracun (msl., raksa unsur).

- **Suhu:** Memanaskan pelarut atau campuran reaksi meningkatkan potensi konsentrasi tinggi di udara.
- **Laju penguapan:** Bahan kimia yang mudah menguap berevaporasi sangat cepat karena tekanan uapnya yang tinggi, sehingga menghasilkan potensi paparan yang signifikan.
- **Kerapatan:** Jika memiliki kerapatan sangat rendah atau ukuran partikel sangat kecil, bahan cenderung tetap berada di udara untuk waktu yang cukup lama.
- **Pembuatan aerosol (suspensi tetes mikroskopis di udara):** Operasi seperti pendidihan kuat, pencampuran laju-tinggi, atau gelembung gas melalui cairan meningkatkan potensi paparan melalui penghirupan.

Kontak dengan Kelarutan atau Mata

Kontak bahan kimia dengan kulit adalah modus cedera yang sering terjadi di laboratorium. Banyak bahan kimia dapat menyebabkan iritasi kulit, reaksi kulit alergi, luka bakar parah, efek racun lokal, atau bahkan toksisitas sistemik. Penyerapan bahan kimia melalui kulit bergantung pada

- konsentrasi bahan kimia;
- kereaktifan bahan kimia;
- kelarutan bahan kimia dalam lemak dan air;
- ketebalan kulit (racun lebih mudah menembus membran dan kulit tipis dibanding kulit tebal);
- kerusakan pada kulit (luka bakar, penyakit kulit, dan dehidrasi meningkatkan masuknya bahan kimia);
- bagian tubuh yang terpapar;
- lamanya kontak; dan
- kontak dengan bahan kimia lain yang meningkatkan daya serap kulit.

Kontak bahan kimia dengan mata sangatlah mengkhawatirkan karena mata peka terhadap iritan. Karena mengandung banyak pembuluh darah, mata juga merupakan rute penyerapan cepat banyak bahan kimia. Bahan alkali, fenol, dan asam sangat korosif dan dapat menyebabkan hilangnya penglihatan secara permanen.

Pencernaan

Banyak bahan kimia yang digunakan di laboratorium sangat berbahaya jika masuk mulut atau tertelan. Penyerapan racun di saluran pencernaan tergantung pada banyak faktor, termasuk sifat fisik bahan kimia, laju pelarutannya, luas permukaan tubuh, laju penyerapan, dan waktu keberadaan di berbagai bagian saluran. Bahan kimia akan diserap lebih banyak jika bahan kimia tetap berada di usus untuk waktu yang lama. Jika bahan kimia dalam bentuk padat yang relatif tidak dapat larut, maka tingkat penyerapannya rendah. Jika berupa asam atau basa organik, bahan kimia akan diserap di bagian saluran pencernaan yang paling mudah larut dalam lemak. Bahan kimia yang mudah larut dalam lemak diserap lebih cepat dibanding bahan kimia yang mudah larut dalam air.

Injeksi

Pemaparan ke bahan kimia beracun melalui injeksi terjadi secara tidak disengaja melalui cedera mekanis dari benda tajam seperti kaca atau logam yang terkontaminasi bahan kimia atau suntikan yang digunakan untuk menangani bahan kimia. Rute intravena masuknya bahan kimia sangatlah berbahaya karena memasukkan racun secara langsung ke aliran darah, tanpa melalui proses penyerapan. Benda tajam harus diletakkan di tempat sampah khusus dan bukan keranjang sampah biasa. Bila memungkinkan, gunakan jarum suntik dengan ujung tumpul untuk penggunaan laboratorium. Sarung tangan pelindung mungkin juga perlu dikenakan saat menangani benda tajam atau yang mudah pecah.

F.2. Menilai Risiko Terkait dengan Racun Akut

Dalam menilai risiko terkait racun akut, klasifikasikan zat menurut tingkat bahaya toksisitas akut seperti ditunjukkan pada Tabel F.1. Tabel F.2. menyebutkan kemungkinan dosis mematikan untuk manusia terkait dengan nilai LD_{50} hewan. Dosis pada Tabel F.2. dinyatakan dalam miligram atau gram per kilogram berat badan untuk orang seberat 70 kg. Beri perhatian khusus pada zat apa pun yang menurut kriteria ini dikelompokkan sebagai bahan kimia yang memiliki bahaya toksisitas akut tingkat tinggi.

TABEL F.1 Tingkat Bahaya Toksisitas Akut

Bahaya Tingkat	Peringkat Toksisitas	LD_{50} Hirupan (tikus, per kg)	LD_{50} Kontak Kulit (kelinci, per kg)	LC_{50} Hirupan (tikus, ppm selama 1 jam)	LC_{50} Hirupan (tikus, mg/m^3 selama 1 jam)
Tinggi	Sangat beracun	<50 mg	<200 mg	<200	<2,000
Sedang	Beracun sedang	50 sampai 500 mg	200 mg sampai 1 g	200 sampai 2,000	2,000 sampai 20,000
Rendah	Sedikit beracun	500 mg sampai 5 g	1 sampai 5 g	2,000 sampai 20,000	20,000 sampai 200,000

TABEL F.2 Kemungkinan Dosis Letal untuk Manusia

Peringkat Toksisitas	LD_{50} Hewan (per kg)	Dosis Letal Bila Dicerna Oleh Orang Seberat 70 kg (150 pon)
Luar biasa beracun	<5 mg	Satu cicipan (<7 tetes)
Sangat beracun	5 sampai 50 mg	Antara 7 tetes dan 1 sdt
Beracun sedang	50 sampai 500 mg	Antara 1 sdt dan 1 ons
Sedikit beracun	500 mg sampai 5 g	Antara 1 ons dan 1 takar
Hampir tidak beracun	>5 g	>1 takar

SUMBER: Diubah, dengan izin, dari Gosselin, R.E, R. P. Smith, dan H. C. Hodge., *Toksikologi Klinis Produk Komersial,* Dicetak ulang dengan izin dari Williams and Wilkins, Baltimore, Maryland. Hak cipta 1984.

Karena risiko paparan terbesar terhadap banyak bahan kimia di laboratorium adalah melalui penghirupan, pegawai laboratorium yang terlatih harus memahami penggunaan batas paparan yang tercantum di Lembar Data Keselamatan Bahan (Material Safety Data sheet, MSDS) dan Kartu Keselamatan Kimia Internasional (International Chemical Safety Card, ICSC).

Nilai batas ambang (threshold limit value, TLV), yang ditetapkan oleh Konferensi Para Ahli Kesehatan Industri Amerika (American Conference of

Governmental Industrial Hygienist, ACGIH), menetapkan konsentrasi bahan kimia di udara yang bisa terpapar kepada hampir semua orang tanpa efek yang merugikan. Batas ini direkomendasikan oleh komunitas ilmiah dan bukan standar hukum. Batas ini dirancang untuk membantu para ahli kesehatan industri. Rerata waktu tertimbang (TWA) TLV mengacu pada konsentrasi yang aman untuk dipaparkan selama total jam kerja 8-jam. Batas paparan jangka pendek TLV (TLV short-term exposure limit, TLV-STEL) adalah konsentrasi yang lebih tinggi yang paparannya aman bagi pekerja selama periode 15 menit maksimal empat kali selama shift 8-jam, dengan jeda minimal 60 menit pada setiap periode ini.

Nilai TLV memungkinkan pegawai laboratorium yang terlatih dengan cepat menentukan bahaya relatif penghirupan bahan kimia. Secara umum, zat dengan TLV kurang dari 50 ppm harus ditangani di tudung sungkup asap. Perbandingan nilai-nilai ini dengan ambang bau untuk zat tertentu sering kali menunjukkan apakah bau untuk zat tertentu memberikan peringatan yang cukup akan adanya kemungkinan bahaya. Akan tetapi, perbedaan kemampuan individu untuk mendeteksi sejumlah bau, serta anosmia ("kelelahan olfaktori") atas etilena oksida atau hidrogen sulfida, dapat membatasi manfaat bau sebagai tanda peringatan untuk paparan berlebih. Ringkasan Keselamatan Kimia Laboratorium (Laboratory Chemical Safety Summaries, LCSS) adalah sumber informasi yang baik mengenai kisaran ambang bau dan apakah sebuah zat diketahui menyebabkan kelelahan olfaktori.

F.3. Titik Nyala, Titik Didih, Suhu Penyulutan, dan Batas Dapat Terbakar Beberapa Bahan Kimia Laboratorium Umum

	Titik Nyala (°C)	Titik Didih (°C)	Suhu Penyulutan (°C)	Batas Dapat Terbakar (persen per volume)	
				Batas Bawah	Batas Atas
Asetaldehida	–39	21	175	4	60
Asam asetat (glasial)	39	118	463	4	19,9
Aseton	–20	56	465	2,5	12,8
Asetonitril	6	82	524	3	16
Karbon disulfida	–30	46	90	1,3	50
Sikloheksana	–20	82	245	1,3	8
Dietilamina	–23	57	312	1,8	10,1
Dietil eter	–45	35	180	1,9	36
Dimetil sulfoksida	95	189	215	2,6	42
Etil alkohol	13	78	363	3,3	19
Heptana	–4	98	204	1,05	6,7
Heksana	–22	69	225	1,1	7,5
Hidrogen		–252	500	4	75
Isopropil alkohol	12	83	399	2	12,7 @ 200 (93)
Metil alkohol	11	64	464	6	36
Metil etil keton	–9	80	404	1,4 @ 200 (93)	11,4 @ 200 (93)
Pentana	<–49	36	260	1,5	7,8
Stirena	31	146	490	0,9	6,8
Tetrahidrofuran	–14	66	321	2	11,8
Toluena	4	111	480	1,1	7,1
p-Xilena	25	138	528	1,1	7

SUMBER: Disadur dari U.S. National Fire Protection Association. 2002. *Panduan Perlindungan Kebakaran terhadap Bahan Berbahaya,* edisi 13, hal. 325-9 hingga 325-117. Lihat juga Kartu Keselamatan Kimia Internasional di *http://www.inchem.org/pages/icsc.html.*

F.4. Bahan Kimia yang Bisa Membentuk Peroksida

Kelas A: Bahan Kimia yang dapat menghasilkan tingkat peroksida yang dapat meledak tanpa konsentrasi

- Isopropil eter
- Butadiena
- Klorobutadiena (kloropropena)
- Kalium amida
- Logam kalium
- Natrium amida (sodamida)
- Tetrafluoroetilena
- Divinil asetilena
- Vinilidena klorida

Kelas B: Bahan kimia yang memiliki bahaya peroksida jika terkonsentrasi sebagai akibat dari distilasi atau penguapan (lakukan tes untuk peroksida jika konsentrasinya disengaja atau dicurigai[a])

- Asetal
- Kumena
- Sikloheksena
- Siklooktena
- Siklopentena
- Diasetilena
- Disiklopentadiena
- Dietilena glikol dimetil eter (diglim)
- Dietil eter
- Dioksana (*p*-dioksana)
- Etilena glikol dimetil eter (glim)
- Furan
- Metil asetilena
- Metil siklopentana
- Metil isobutil keton
- Tetrahidrofuran
- Tetrahidronaftalena
- Vinil eter

Kelas C: Monomer tak jenuh yang dapat berpolimerisasi otomatis sebagai hasil akumulasi peroksida jika penghambat telah hilang atau dikurangi[a]

- Asam akrilat
- Butadiena
- Klorotrifluoroetilena
- Etil akrilat
- Metil metakrilat
- Stirena
- Vinil asetat
- Vinil klorida
- Vinil piridina

[a]Daftar ini hanya merupakan contoh, tidak bersifat menyeluruh.

SUMBER: Jackson, H. L. dkk. *1970. Journal of Chemical Education* , 47: A175; Kelly, R. J. 19*96. Chemical Health and Safety*, 3: 28.

Senyawa Kelas A khususnya berbahaya jika di-peroksida-kan dan tidak boleh disimpan untuk waktu yang lama di laboratorium. Buang senyawa ini dalam waktu tiga bulan setelah diterima. Simpan inventaris bahan Kelas B dan C dengan jumlah minimal dan kelola bahan tersebut berdasarkan pertama masuk, pertama keluar. Simpan Bahan Kelas B dan C di tempat gelap. Jika bahan disimpan dalam botol kaca, gunakan kaca buram. Tandai wadah dengan tanggal pembukaannya dan periksa wadah itu setiap enam bulan setelahnya.

Bahan Kelas B biasanya dijual dengan penghambat swa-oksidasi. Jika penghambat dihilangkan dari bahan kimia atau tidak terdapat penghambat, ambil tindakan khusus dalam penyimpanan jangka panjang bahan kimia tersebut karena

kemungkinan pembentukan peroksida lebih besar. Bersihkan ruang atas wadah dengan nitrogen. Beberapa prosedur, termasuk strip uji, dapat digunakan untuk memeriksa kontaminasi peroksida pada bahan Kelas B. Tidak diperlukan tindakan pencegahan untuk pembuangan bahan Kelas B yang terkontaminasi peroksida.

Dalam banyak kasus, sampel komersial untuk bahan Kelas C dilengkapi dengan penghambat polimerisasi yang **memerlukan** keberadaan oksigen agar berfungsi dan, oleh karena itu, tidak boleh disimpan di dalam atmosfer lembam. Simpan sampel senyawa Kelas C yang bebas-penghambat (yaitu, senyawa telah disintesis di laboratorium atau penghambat telah dihilangkan dari sampel komersial) dalam jumlah terkecil yang diperlukan dan di atmosfer lembam. Segera buang bahan yang tidak digunakan, atau jika diperlukan penyimpanan jangka panjang, tambahkan penghambat yang sesuai.

Jenis Senyawa yang Dikenal Beroksidasi Sendiri untuk Membentuk Peroksida

Bahan kimia yang diuraikan di atas hanya merepresentasikan bahan-bahan yang membentuk peroksida tanpa adanya kontaminan atau keadaan yang tidak lazim.

- Eter yang mengandung grup alkil primer dan sekunder (jangan sekali-kali menyuling eter sebelum benar-benar terlihat bebas dari peroksida)
- Senyawa yang mengandung hidrogen benzilik
- Senyawa yang mengandung hidrogen alilik (C=C-CH)
- Senyawa yang mengandung gugus C-H tersier (msl., dekalin dan 2,5-dimetilheksana)
- Senyawa yang mengandung gabungan alkena dan alkina tak jenuh majemuk (msl., 1,3-butadiena, vinil asetilen)
- Senyawa yang mengandung grup C-H sekunder atau tersier yang bersebelahan dengan amida (msl., 1-metil-2-pirolidinon)

F.5. Bahaya Bahan Kimia Khusus dari Gas Tertentu

Pegawai laboratorium harus melihat LCSS dan MSDS untuk gas tertentu. Di bawah ini adalah daftar zat-zat berbahaya tertentu yang mungkin berbentuk gas mampat.

- ***Boron trifluorida dan boron triklorida*** (BF_3 dan BCl_3) bereaksi dengan air sehingga masing-masing membentuk asam fluorida (HF) dan asam klorida (HCl). Asapnya bersifat korosif, beracun, dan menyebabkan iritasi pada mata dan membran mukosa.
- ***Klor trifluorida*** (ClF_3) dalam bentuk cair korosif dan sangat beracun. Zat ini merupakan potensi sumber ledakan dan menyebabkan luka bakar yang dalam dan menusuk jika terkena tubuh. Efeknya mungkin tertunda dan progresif, seperti halnya dalam kasus luka bakar yang disebabkan hidrogen fluorida. Klor trifluorida bereaksi aktif dengan air dan sebagian besar zat yang mudah teroksidasi pada suhu ruang, sering kali dengan penyulutan yang cepat. Zat ini bereaksi dengan sebagian besar logam dan oksida logam pada suhu yang lebih tinggi. Selain itu, zat ini bereaksi dengan senyawa yang mengandung silikon dan oleh karenanya bisa mendorong pembakaran kaca, asbes, dan bahan serupa lainnya secara berkelanjutan. Klor triflourida membentuk campuran yang mudah meledak dengan uap air, amonia, hidrogen, dan sebagian besar uap organik. Zat ini menyerupai fluor dasar dalam banyak sifat kimianya. Prosedur penanganannya meliputi beberapa tindakan pencegahan agar tidak terjadi kecelakaan.
- ***Hidrogen selenida*** (H_2Se) adalah gas tak berwarna dengan bau yang menyengat. Zat ini menimbulkan risiko kebakaran dan ledakan yang berbahaya dan dapat bereaksi kuat dengan bahan pengoksidasi. Zat ini mungkin mengalir ke sumber penyulutan. Hidrogen selenida bisa menyebabkan iritasi pada mata, membran mukosa, dan sistem paru-paru. Paparan akut dapat menyebabkan gejala-gejala seperti edema paru-paru, bronkitis parah, dan pneumonia bronkial. Gejala-gejalanya juga meliputi gangguan pencernaan, pusing, semakin lelah, dan rasa logam di mulut.
- **Hidrogen sulfida** (H_2S) adalah gas yang sangat beracun dan mudah terbakar. Meskipun bau khas zat ini seperti telur busuk, zat ini memperlemah indra penciuman. Keparahan situasi bisa gagal terdeteksi sebelum akhirnya kesehatan menurun drastis dan keadaan

ini problematis bagi penyelamat yang merasa bahwa bahaya telah berlalu saat bau telah lenyap.

- ***Metil klorida*** (CH_3Cl) memiliki sedikit bau yang tidak menyengat dan tidak menyebabkan iritasi dan bisa tidak terdeteksi kecuali ditambahkan zat peringatan. Jika terpapar konsentrasi dalam jumlah berlebihan, gejala-gejala yang ditunjukkan mirip dengan gejala keracunan alkohol: mengantuk, bingung, mual, dan mungkin muntah. Metil klorida mungkin, dalam kondisi tertentu, bereaksi dengan aluminium atau magnesium sehingga membentuk bahan yang menyulut dan mengeluarkan asap secara spontan jika terkena udara. Hindari kontak dengan logam-logam ini.
- ***Fosfina*** (PH_3) adalah gas yang secara spontan mudah terbakar, meledak, beracun, dan tidak berwarna dan berbau seperti ikan busuk. Cairan ini bisa menyebabkan radang kedinginan. Fosfina bisa menyebabkan bahaya kebakaran dan tersulut jika ada udara dan pengoksidasi. Zat ini bereaksi dengan air, asam, dan halogen. Jika dipanaskan, zat ini membentuk hidrogen fosfida, yang mudah meledak dan beracun. Mungkin paparan dan munculnya gejala tidak terjadi dalam waktu berdekatan.
- ***Silana*** (SiH_4) adalah gas piroforik tak berwarna yang secara spontan menyulut di udara. Zat ini tidak kompatibel dengan air, asam, dan halogen. Gas ini memiliki bau menyengat dan menjijikkan.
- ***Silil halida*** adalah gas tak berwarna yang beracun dengan bau yang tajam. Zat ini menyebabkan iritasi yang merusak pada kulit, mata, dan membran mukosa. Jika silil halida dipanaskan, zat ini mungkin mengeluarkan asap beracun.

G

G.1. Mengatur Inventaris

Setiap catatan pada basis-data inventaris bahan kimia umumnya terkait dengan satu wadah bahan kimia, tidak hanya bahan kimianya saja. Inventaris ini harus berisi bidang data berikut untuk masing-masing butir:

- Nama sebagaimana tercetak di wadah
- Rumus molekul
- Nomor registri Layanan Abstrak Kimia (Chemical Abstracts Service, CAS), untuk identifikasi yang tidak ambigu
- Sumber
- Ukuran wadah atau jumlah awal bahan kimia

Selain itu, informasi berikut ini mungkin berguna:

- Klasifikasi bahaya, sebagai panduan penyimpanan, penanganan, dan pembuangan yang aman
- Tanggal pengambilan, untuk menghindari penyimpanan melebihi usia pakai yang berguna
- Tempat penyimpanan
- Pemilik di lokasi atau anggota staf yang bertanggung jawab atas sampel tersebut

Jika memungkinkan, gunakan sistem inventaris berbasis komputer, khususnya bila jumlah bahan kimianya lebih dari ratusan. Alternatif sederhana dan

hemat dari sistem terkomputerisasi adalah inventaris dengan kartu indeks yang disimpan di lokasi yang mudah terjangkau.

Pelabelan wadah bahan kimia dengan barcode saat bahan kimia diterima merupakan cara untuk memasukkan informasi dengan cepat tanpa kesalahan untuk memudahkan sistem pelacakan bahan kimia. Tersedia paket perangkat lunak berpemilik untuk melacak bahan kimia. Lembaga mungkin ingin melacak jumlah bahan di masing-masing wadah. Investasi perangkat keras, perangkat lunak, dan pegawai untuk mengatur dan memelihara sistem inventaris bahan kimia mahal, tetapi sangat menguntungkan dalam hal pengelolaan bahan kimia secara ekonomis, selamat, dan aman.

Memelihara Inventaris

Inventaris bernilai bagi operasi laboratorium jika semua orang mendukung dan berkontribusi terhadap pengoperasian tersebut. Untuk memastikan inventaris terkelola dengan baik dan berguna, lakukan langkah-langkah ini.

- Masukkan semua bahan kimia di laboratorium ke dalam inventaris.
- Selalu perbarui inventaris. Tunjuk satu atau beberapa pegawai yang mencatat inventaris dan memasukkan bahan baru ke dalam sistem. Hanya pegawai-pegawai inilah yang memiliki akses untuk menulis atau mengedit inventaris.
- Audit inventaris dan sistem pelacakan secara berkala untuk menghapus data yang tidak akurat. Setiap tahun, buatlah inventaris nyata bahan-bahan kimia yang disimpan, verifikasi data masing-masing item, dan cocokkan setiap perbedaannya. Pada saat bersamaan, identifikasi bahan kimia yang tidak diperlukan, kedaluwarsa, atau rusak, lalu atur pembuangannya.
- Pastikan wadah yang kosong dihapus dari inventaris yang aktif.

Menghapus Inventaris yang Tidak Diinginkan

- Pertimbangkan untuk membuang bahan-bahan yang kira-kira tidak akan digunakan dalam periode lumayan lama, seperti dua tahun. Untuk zat-zat yang stabil dan relatif tidak berbahaya dengan usia pakai tak terbatas, keputusan untuk menyimpannya harus mempertimbangkan nilai ekonomis, ketersediaan, dan biaya penyimpanannya.

- Pastikan Anda mencari wadah yang rusak atau wadah yang isinya terbukti jelas mengalami perubahan kimia. Wadah-wadah seperti ini harus diperiksa dan ditangani oleh orang yang berpengalaman dalam mengantisipasi kemungkinan bahaya dalam situasi semacam ini.
- Buang atau lakukan daur ulang bahan kimia sebelum tanggal kedaluwarsanya sebagaimana tertulis di wadah tersebut.
- Ganti label yang rusak sebelum informasinya buram atau hilang.
- Segera pindahkan zat yang berbau dari penyimpanan dan inventaris.
- Segera kurangi inventaris bahan kimia yang memerlukan penyimpanan pada suhu rendah di ruang kendali suhu atau lemari es. Karena bahan kimia ini mungkin meliputi bahan yang sensitif terhadap udara dan kelembapan, bahan-bahan kimia ini utamanya cenderung mengalami masalah kondensasi.
- Buanglah semua bahan kimia berbahaya yang terkait dengan pegawai laboratorium yang sudah berhenti bekerja atau dipindahkan ke laboratorium lain. Lembaga harus menetapkan kebijakan pembersihan bagi peneliti laboratorium atau siswa yang akan pergi dan harus memberlakukan kebijakan ini dengan ketat untuk mencegah timbulnya bahaya bagi orang lain akibat bahan kimia yang tidak terurus dan tidak diketahui.
- Kembangkan dan berlakukan prosedur pemindahan atau pembuangan bahan kimia atau bahan lain saat menghentikan operasi laboratorium karena renovasi dan relokasi.
- Coba hindari menerima seluruh inventaris bahan kimia dari laboratorium yang sudah berhenti beroperasi dan jangan sumbangkan seluruh inventaris bahan kimia kepada sekolah atau unit usaha kecil.

G.2. Contoh Kelompok Penyimpanan yang Sesuai

A: Basa organik yang Sesuai
Dietilamina
Piperidina
Trietanolamina
Benzilamina
Benziltrimetilamonium hidroksida

B: Bahan Piroforik dan Reaktif-Air yang Sesuai
Natrium borohidrida
Benzoil klorida
Debu seng
Larutan alkilitium seperti metilithium dalam tetrahifrofuran
Metanasulfonil klorida
Litium aluminium hidrida

C: Basa Anorganik yang Sesuai
Natrium hidroksida
Amonium hidroksida
Litium hidroksida
Sesium hidroksida

D: Asam Organik yang Sesuai
Asam asetat
Asam sitrat
Asam maleat
Asam propionat
Asam benzoat

E: Pengoksidasi yang Sesuai Termasuk Peroksida
Asam nitrat
Asam perklorat
Natrium hipoklorit
Hidrogen peroksida
Asam 3-kloroperoksibenzoat

F: Asam Anorganik yang Sesuai tidak Termasuk Pengoksidasi atau Bahan Mudah Menyala
Asam klorida
Asam sulfat
Asam fosfat
Larutan hidrogen fluorida

J: Gas Mampat yang Beracun
Belerang dioksida
Heksafluoropropilena

K: Bahan peledak atau Bahan yang Sangat Tidak Stabil Lainnya yang Sesuai
Asam pikrat, kering (<10% H_2O)
Nitroguanidina
Tetrazola
Urea nitrat

L: Bahan Mudah Terbakar dan Mudah Menyala Non-reaktif, Termasuk Pelarut
Benzena
Metanol
Toluena
Tetrahidrofuran

X: Tidak sesuai dengan SEMUA Kelompok Penyimpanan Lain
Asam pikrat, lembap (10-40% H_2O)
Fosfor
Benzil azida
Natrium hidrogen sulfida

H

H.1. Peralatan Perlindungan Diri, Keselamatan, dan Keadaan Darurat

Peralatan dan Pakaian Pelindung untuk Pegawai Laboratorium

Pakaian Pribadi

- Pakaian yang membuat sebagian besar kulit terpapar tidak cocok di laboratorium tempat digunakannya bahan kimia berbahaya. Pakaian pribadi harus menutupi tubuh sepenuhnya.
- Kenakan jas laboratorium yang sesuai dalam keadaan dikancingkan dan lengan tidak digulung. Selalu kenakan pakaian pelindung jika ada kemungkinan bahwa pakaian pribadi dapat terkontaminasi atau rusak karena bahan berbahaya secara kimia. Pakaian yang dapat dicuci atau sekali pakai yang dikenakan untuk bekerja di laboratorium dengan khususnya bahan-bahan kimia berbahaya meliputi jas dan apron laboratorium khusus, terusan baju-celana, sepatu boot khusus, penutup kaki, dan sarung tangan pelindung, serta mantel pelindung percikan. Perlindungan dari panas, kelembapan, dingin, dan/atau radiasi mungkin diperlukan dalam situasi khusus. Garmen sekali pakai memberikan perlindungan terbatas saja dari penetrasi uap atau gas.
- Jas laboratorium harus tahan api. Jas katun tidak mahal dan tidak langsung terbakar, tetapi bereaksi cepat dengan asam. Jas poliester tidak cocok untuk pekerjaan membuat kaca atau pekerjaan dengan bahan-bahan yang mudah terbakar. Apron dari plastik atau karet bisa memberi perlindungan yang baik dari cairan korosif, tetapi mungkin tidak cocok jika terjadi kebakaran. Apron plastik juga bisa

mengumpulkan listrik statis, jadi tidak boleh digunakan di sekitar cairan yang mudah terbakar, bahan peledak yang sensitif terhadap pelepas elektrostatis, atau bahan-bahan yang dapat tersulut oleh pelepasan statis. Jas laboratorium atau apron laboratorium yang terbuat dari bahan khusus tersedia untuk aktivitas risiko tinggi.

- Tinggalkan jas laboratorium di laboratorium untuk meminimalkan risiko tersebarnya bahan kimia ke area publik, makan, atau kantor. Cuci jas secara teratur.
- Pilih pakaian pelindung yang tahan terhadap bahaya fisik, kimia, dan termal dan mudah dipindahkan, dibersihkan, atau dibuang.
- Pakaian sekali pakai yang sudah digunakan saat menangani bahan karsinogenik atau bahan lain yang sangat berbahaya harus dipindah tanpa memaparkan bahan beracun kepada satu orang pun. Pakaian tersebut harus dibuang sebagai limbah berbahaya.
- Rambut panjang yang tidak diikat dan baju yang longgar, seperti baju berkerah, celana baggy, dan jas, tidak cocok untuk digunakan di laboratorium tempat digunakannya bahan kimia berbahaya. Hal-hal tersebut bisa terkena api, tercelup di bahan kimia, dan terbelit di peralatan.
- Jangan memakai cincin, gelang, arloji, atau perhiasan lain yang bisa rusak, menjerat bahan kimia sehingga dekat dengan kulit kita, menyentuh sumber listrik, atau terbelit di mesin.
- Jangan menggunakan pakaian atau aksesori yang terbuat dari kulit pada situasi di mana bahan kimia bisa meresap ke dalam kulit dan dekat dengan kulit.

Perlindungan Kaki

Tidak semua jenis alas kaki cocok untuk digunakan di laboratorium di mana bahaya kimia dan mekanik mungkin terjadi. Kenakan sepatu yang kuat di daerah tempat bahan kimia berbahaya digunakan atau kerja mekanik dilakukan. Sepatu kayu, sepatu berlubang, sandal, dan sepatu kain tidak memberikan perlindungan terhadap bahan kimia yang tumpah. Dalam banyak kasus, sepatu keselamatan adalah pilihan terbaik. Kenakan sepatu dengan lapisan baja di depannya (steel toe) saat menangani benda yang berat seperti silinder gas. Tutup sepatu mungkin diperlukan untuk bekerja terutama dengan bahan-bahan berbahaya. Sepatu dengan sol konduktif berguna untuk mencegah menumpuknya muatan statis, dan sol isolasi bisa melindungi terhadap kejutan listrik.

Perlindungan Mata dan Wajah

- Selalu kenakan kacamata pengaman dengan pelindung samping untuk bekerja di laboratorium dan, terutama dengan bahan kimia berbahaya. Kaca mata resep biasa dengan lensa yang diperkeras tidak dapat berfungsi sebagai kaca mata pengaman. Lensa kontak bisa digunakan dengan aman jika dilengkapi perlindungan mata dan wajah yang tepat (namun, lihat Bab 9, Bagian 3.2.2.).
- Kenakan kaca mata pelindung percikan bahan kimia, yang memiliki bagian samping tahan percikan agar melindungi mata sepenuhnya, jika ada bahaya percikan dalam operasi yang melibatkan bahan kimia berbahaya.
- Kenakan kaca mata pelindung benturan jika ada bahaya partikel yang beterbangan.
- Kenakan pelindung seluruh wajah dengan kaca mata pengaman dan pelindung samping agar melindungi seluruh wajah dan tenggorokan. Jika ada kemungkinan percikan bahan cair, sekaligus kenakan pelindung wajah dan kaca mata pelindung percikan bahan kimia. Alat-alat ini khususnya penting untuk pekerjaan dengan cairan yang sangat korosif. Gunakan pelindung seluruh wajah dengan pelindung tenggorokan dan kaca mata pengaman dengan pelindung samping saat menangani bahan kimia yang mudah meledak atau sangat berbahaya.
- Jika pekerjaan di laboratorium bisa melibatkan paparan terhadap laser, sinar ultraviolet, sinar inframerah, atau cahaya tampak yang intens, kenakan pelindung mata khusus.
- Berikan perlindungan mata yang diperlukan bagi pengunjung. Tempel tanda di laboratorium yang menunjukkan bahwa perlindungan mata perlu dipakai di laboratorium yang menggunakan bahan kimia berbahaya.

Peralatan Keselamatan dan Darurat

Peralatan keselamatan—meliputi perangkat pengendali tumpahan, pelindung keselamatan, perangkat keselamatan kebakaran, respirator, pancuran keselamatan dan unit pencuci mata, dan peralatan darurat—harus tersedia di lokasi yang ditandai dengan baik dan mudah terlihat di semua laboratorium kimia. Ruang tarik alarm kebakaran dan telepon dengan nomor kontak darurat harus mudah terjangkau. Mungkin perangkat keselamatan lain diperlukan selain hal-hal standar ini.

Supervisor laboratorium bertanggung jawab untuk memastikan semua orang diberi pelatihan yang tepat dan diberi peralatan keselamatan yang diperlukan.

Pelindung Keselamatan

Gunakan pelindung keselamatan untuk melindungi diri terhadap kemungkinan bahaya ledakan atau percikan. Lindungi peralatan laboratorium di semua sisinya sehingga tidak ada paparan pegawai segaris pandang. Jendela depan tudung kimia bisa memberikan perlindungan. Namun, gunakan pelindung portabel saat melakukan manipulasi, terutama dengan tudung yang memiliki jendela yang terbuka secara vertikal, bukannya horizontal.

Pelindung portabel dapat memberi perlindungan terhadap bahaya dengan keparahan terbatas, seperti percikan kecil, panas, dan api. Namun, pelindung portabel tidak melindungi bagian samping atau bagian belakang peralatan. Selain itu, banyak pelindung portabel tidak ditimbang secara memadai untuk perlindungan bagian depan dan bisa menimpa pekerja jika terjadi ledakan. Pelindung yang terpasang sepenuhnya mengelilingi alat eksperimen bisa memberi perlindungan terhadap kerusakan ledakan kecil. Polimetil metakrilat, polikarbonat, polivinil klorida, dan kaca pelat keselamatan yang dilaminasi adalah bahan-bahan pelindung tembus cahaya yang baik. Jika pembakaran mungkin terjadi, bahan pelindung harus tak mudah terbakar atau lambat terbakar. Kaca pelat keselamatan yang dilaminasi mungkin bahan terbaik untuk situasi semacam itu, jika kaca dapat menahan tekanan ledakan kerja. Polimetil metakrilat memberikan keseluruhan kombinasi karakteristik pelindung yang sangat baik jika mempertimbangkan biaya, transparansi, kekuatan tekanan tinggi, ketahanan terhadap beban tekukan, kekuatan benturan, ketahanan pecah, dan laju pembakaran.

Polikarbonat jauh lebih kuat dan melakukan pemadaman sendiri setelah penyulutan, tetapi mudah diserang pelarut organik.

Peralatan Keselamatan Kebakaran

Pemadam Api

Semua laboratorium kimia harus memiliki pemadam api jenis karbon dioksida dan bahan kimia kering. Sediakan pemadam api jenis lain tergantung pekerjaan yang dilakukan di laboratorium. Tercantum di bawah ini adalah empat jenis pemadam api yang paling umum dan jenis kebakaran yang cocok dengan pemadam api tersebut. Pemadam api multiguna juga bisa disediakan.

1. ***Pemadam api jenis air*** efektif untuk kertas dan sampah yang terbakar. Jangan gunakan pemadam ini untuk memadamkan kebakaran listrik, cairan, atau logam.

2. ***Pemadam api jenis karbon dioksida*** efektif untuk memadamkan cairan yang terbakar, seperti hidrokarbon atau cat, dan kebakaran listrik. Pemadam api ini dianjurkan untuk kebakaran yang melibatkan peralatan komputer, instrumen yang mudah pecah, dan sistem optik karena tidak merusak peralatan tersebut. Pemadam ini kurang efektif untuk memadamkan kebakaran kertas dan sampah serta *tidak boleh digunakan* untuk menangani kebakaran logam hidrida atau logam. Berhati-hatilah saat menggunakan pemadam api ini, karena gaya dorong gas mampat bisa menyebarkan bahan yang mudah terbakar, seperti kertas, dan bisa menumpahkan wadah cairan yang mudah terbakar.
3. ***Pemadam api jenis serbuk kering***, yang berisi amonium fosfat atau natrium bikarbonat, efektif memadamkan cairan yang terbakar dan kebakaran listrik. Pemadam ini kurang efektif untuk memadamkan kebakaran kertas dan sampah atau logam. Pemadam api ini tidak dianjurkan untuk kebakaran yang melibatkan instrumen yang mudah pecah atau sistem optik karena masalah pembersihan. Peralatan komputer mungkin perlu diganti jika terpapar serbuk kering dalam jumlah cukup. Pemadam api ini umumnya digunakan di tempat yang mungkin terdapat pelarut dalam jumlah besar.
4. ***Pemadam api Met-L-X*** dan pemadam api lainnya yang memiliki formulasi granular khusus efektif memadamkan logam yang terbakar. Tercakup dalam kategori ini adalah kebakaran yang melibatkan magnesium, litium, natrium, dan kalium; paduan logam reaktif; dan hidrida logam, alkil logam, dan organologam lainnya. Pemadam api ini kurang efektif untuk memadamkan kebakaran kertas dan sampah, cairan atau listrik.

Setiap pemadam api harus memiliki label yang memperlihatkan jenis kebakaran yang dipadamkan dan tanggal pemeriksaan terakhir. Ada sejumlah jenis pemadam api lain yang lebih khusus yang tersedia untuk menangani situasi bahaya kebakaran yang tidak biasa. Setiap orang di laboratorium yang terlatih harus bertanggung jawab untuk mengetahui lokasi, pengoperasian, dan keterbatasan pemadam kebakaran di daerah kerja. Supervisor laboratorium bertanggung jawab untuk memastikan bahwa semua pegawai mengetahui lokasi pemadam api dan dilatih untuk menggunakannya. Pegawai yang ditunjuk harus segera mengisi ulang atau mengganti pemadam kebakaran yang sudah digunakan.

Detektor Panas dan Asap

Sensor panas dan/atau detektor asap mungkin merupakan bagian dari peralatan keselamatan gedung. Alat ini mungkin membunyikan alarm secara otomatis dan menghubungi petugas pemadam kebakaran; alat ini mungkin mengaktifkan sistem pemadaman api secara otomatis; atau alat ini mungkin hanya berfungsi sebagai alarm setempat. Karena pengoperasian laboratorium bisa menghasilkan panas atau uap, evaluasi jenis dan lokasi detektor dengan cermat untuk menghindari alarm keliru yang sering berbunyi.

Respirator

Masing-masing respirator di laboratorium harus memiliki informasi tertulis yang memperlihatkan keterbatasan, cara pemasangan, dan prosedur pemeriksaan dan pembersihan peralatan ini. Orang-orang yang menggunakan respirator saat bekerja harus dilatih secara menyeluruh tentang pengujian pemasangan, penggunaan, keterbatasan, dan pemeliharaan peralatan tersebut. Pelatihan harus berlangsung sebelum penggunaan pertama kali dan setiap tahun setelah itu dan harus meliputi demonstrasi dan praktik pemakaian, penyetelan, dan pemasangan peralatan dengan tepat.

Pengguna harus memeriksa respirator setiap sebelum digunakan, dan supervisor laboratorium harus memeriksanya secara berkala. Alat bantu pernafasan mandiri harus diperiksa sedikitnya sebulan sekali dan dibersihkan setelah digunakan.

Pancuran Keselamatan dan Unit Pencuci Mata

Pancuran Keselamatan

Sediakan pancuran keselamatan di daerah penanganan bahan kimia. Alat ini harus digunakan untuk P3K awal jika terpercik bahan kimia dan untuk memadamkan pakaian yang terbakar. Setiap orang yang bekerja di laboratorium harus mengetahui lokasi pancuran keselamatan dan harus belajar cara menggunakannya. Uji pancuran keselamatan secara rutin untuk memastikan katupnya dapat dioperasikan dan bersihkan kotoran yang ada di sistem tersebut.

Pastikan masing-masing pancuran bisa segera membasahi subjek secara menyeluruh dan cukup besar untuk menampung lebih dari satu orang jika perlu. Masing-masing pancuran harus memiliki katup buka cepat yang memerlukan penutupan secara manual. Batang delta tarik ke bawah sangat cocok jika cukup panjang, tetapi tarikan dengan rantai tidak dianjurkan karena bisa mengenai pengguna dan sulit diraih dalam keadaan darurat. Pasang saluran di bawah pancuran keselamatan untuk mengurangi risiko tergelincir atau jatuh dan kerusakan fasilitas yang terkait dengan banjir di laboratorium.

Unit Pencuci Mata

Pasang unit pencuci mata jika zat-zat yang ada di laboratorium bisa menimbulkan bahaya terhadap mata atau jika pekerja mungkin menghadapi bahaya mata yang tidak diketahui. Unit pencuci mata harus memberikan aliran lembut atau semprotan air soda untuk waktu lama (15 menit). Tempatkan unit ini di dekat pancuran keselamatan sehingga, jika diperlukan, mata dapat dibasuh sementara tubuh disiram di pancuran.

H.2. Bahan yang Memerlukan Perhatian Khusus Karena Bersifat Reaktif, Mudah Meledak, atau Ketidaksesuaian Bahan Kimia

Daftar berikut tidak menyeluruh. Carilah panduan lebih lanjut tentang bahan reaktif dan mudah meledak dari bagian buku ini yang terkait dan sumber informasi lainnya.

- **Senyawa asetilenat** bisa meledak jika 2,5 senyawa bercampur 80% udara. Pada tekanan 2 atmosfer atau lebih, asetilena (C_2H_2) yang dipengaruhi pelepasan listrik atau suhu tinggi terurai dengan daya rusak eksplosif. Asetilida kering meledak jika menerima kejutan terkecil. Asetilena harus ditangani dalam larutan aseton dan jangan pernah disimpan sendirian di silinder.
- **Senyawa alkillitium** bersifat sangat reaktif. Reaksi kuat bisa terjadi jika terpapar air, karbon dioksida, dan bahan lainnya. Senyawa alkillithium sangat korosif terhadap kulit dan mata. Larutan *tert*-Butillithium bersifat sangat piroforik dan bisa tersulut secara spontan jika terpapar udara. Larutan *n*-butillitium pekat (50-80%) paling berbahaya dan segera tersulut jika terpapar udara. Kontak dengan air atau bahan yang lembap bisa menyebabkan kebakaran dan ledakan. Simpan senyawa-senyawa ini dan tangani di atmosfer lembam di area yang bebas dari sumber penyulutan. Untuk informasi lebih terperinci tentang penanganan senyawa organolithium, lihat Schwindeman, J.A., C.J. Wolterman, dan R.J. Letchford. 2002. *Chemical Health and Safety*, edisi Mei/Juni, 6-11.
- **Aluminium klorida ($AlCl_3$)** adalah bahan yang berpotensi bahaya. Jika lembap, cukup penguraian bisa membentuk hidrogen klorida (HCl) dan membentuk tekanan yang cukup besar. Saat membuka botol yang telah disimpan lama, bungkus seluruhnya terlebih dahulu dengan handuk berat.
- **Amonia (NH_3)** bereaksi dengan iod sehingga membentuk nitrogen triiodida, yang meledak jika disentuh. Amonia bereaksi dengan hipoklorit sehingga membentuk klor. Campuran amonia dan halida organik kadang bereaksi kuat jika dipanaskan di bawah tekanan. Amonia mudah menyala. Menghirup asap pekat bisa mematikan.
- **Azida**, baik organik maupun anorganik, dan beberapa senyawa azo bisa sensitif terhadap panas dan kejutan. Azida seperti natrium azida bisa menggeser halida dari hidrokarbon berklor seperti diklorometana untuk membentuk poliazida organik yang sangat mudah meledak.

Reaksi substituasi ini dipermudah dengan pelarut seperti dimetil sulfoksida (DMSO).

- **Boron halida** adalah asam Lewis yang kuat dan terhidrolisis menjadi asam protonat yang kuat.
- *tert*-**Butillitium**: Lihat senyawa alkillithium.
- **Karbon disulfida (CS_2)** sangat beracun dan sangat mudah terbakar. Jika tercampur udara, uapnya bisa tersulut oleh rendaman atau pipa uap, pelat panas, atau bohlam lampu.
- **Klor (Cl_2)** beracun dan bereaksi kuat dengan hidrogen (H_2) atau dengan hidrokarbon jika terpapar sinar matahari.
- **Kompleks kromium trioksida-piridina ($CrO_3 \cdot C_5H_5N$)** bisa meledak jika konsentrasi CrO_3 terlalu tinggi. Kompleks ini harus disiapkan dengan penambahan CrO_3 pada C_5H_5N berlebih.
- **Diazometana (CH_2N_2)** dan senyawa diazo terkait harus ditangani dengan sangat hati-hati. Zat ini sangat beracun, dan gas murni serta cairannya bisa segera meledak bahkan hanya jika terjadi kontak dengan ujung kaca yang tajam. Larutan dalam eter lebih aman dari cara pandang ini. Larutan diazometana dalam eter hilang bahayanya jika ditambahi tetesan asam asetat.
- **Dietil eter dan eter lainnya**, termasuk tetrahidrofuran, 1,4-dioksana, dan terutama jenis eter rantai bercabang, kadang meledak selama distilasi karena konsentrasi peroksida yang telah berkembang karena oksidasi udara. Gunakan garam besi atau natrium bisulfit untuk menguraikan peroksida ini. Aliran di atas alumina aktif basa bisa menghilangkan sebagian besar bahan peroksida. Namun secara umum, buang sampel eter lama jika sampel memberi hasil uji peroksida positif.
- **Diisopropil eter** adalah pembentuk peroksida yang terkenal berbahaya. Peroksida mengkristal saat sedang terbentuk. Ada sejumlah laporan tentang bagian bawah botol lama diisopropil eter yang ditemukan berisi tumpukan kristal dalam jumlah besar. Kristal ini sangat peka terhadap guncangan, meskipun dibasahi dengan diisopropil eter supernatan. Guncangan lembut (misalnya, pecahnya botol, pelepasan tutup botol) cukup untuk menyebabkan ledakan. Jangan simpan eter ini di laboratorium. Beli seperlunya saja untuk eksperimen atau proses tertentu. Segera buang bahan yang tersisa.
- **Dimetil sulfoksida (DMSO), $(CH_3)_2SO$,** terurai kuat jika bersinggungan dengan beragam senyawa halogen aktif, seperti asil klorida. Ledakan akibat kontak dengan hidrida logam aktif pernah dilaporkan. Dimetil

sulfoksida benar-benar menembus dan membawa zat yang terlarut ke dalam membran kulit.

- **Benzoil peroksida kering ($C_6H_5CO_2)_2$** mudah tersulut dan peka terhadap guncangan. Zat ini terurai secara spontan pada suhu di atas 50°C. Dilaporkan bahwa zat ini menjadi kurang peka jika ditambahi air 20%.
- **Es kering** tidak boleh disimpan di wadah yang tidak dirancang untuk menahan tekanan. Wadah zat lain yang disimpan di es kering dalam waktu lama umumnya menyerap karbon dioksida (CO_2) kecuali telah ditutup rapat. Jika wadah tersebut dikeluarkan dari penyimpanan dan segera ditempatkan di suhu ruang, CO_2 mungkin mengumpulkan tekanan yang cukup untuk meledakkan wadah dengan daya rusak eksplosif. Saat mengeluarkan wadah semacam itu dari penyimpanan, longgarkan sumbat atau bungkus wadah itu dengan handuk dan letakkan di belakang pelindung. Es kering bisa menyebabkan luka bakar parah, dan ini juga berlaku untuk segala jenis rendaman pendingin es kering.
- **Bahan pengering**, seperti Ascarite® (silika berlapis natrium hidroksida), tidak boleh dicampur dengan fosfor pentoksida (P_2O_5) karena campurannya bisa meledak jika dipanaskan dengan sisa air. Karena garam kobalt yang digunakan sebagai indikator kelembapan dalam beberapa bahan pengering mungkin diekstrak oleh beberapa pelarut organik, batasi penggunaan bahan pengering ini untuk mengeringkan gas.
- **Debu** yang merupakan suspensi partikel yang mudah teroksidasi (msl., bubuk magnesium, debu seng, bubuk karbon, bunga belerang) di udara merupakan campuran peledak yang dahsyat. Gunakan bahan ini dengan ventilasi memadai dan jangan sampai terpapar sumber penyulutan. Jika terpisahkan dengan baik, sebagian zat padat termasuk zirkonium, titanium, nikel Raney, timbal (seperti yang disiapkan oleh pirolisis timbal tartrat), dan katalis (seperti karbon aktif yang mengandung logam aktif dan hidrogen), bisa terbakar secara spontan jika dibiarkan mengering sembari terpapar pada udara. Zat-zat ini harus ditangani saat basah.
- **Etilena oksida (C_2H_4O)** telah diketahui bisa meledak jika dipanaskan dalam bejana tertutup. Gunakan barikade yang sesuai jika melakukan eksperimen dengan menggunakan etilena oksida di bawah tekanan.
- **Fluor (F_2)** adalah gas pengoksidasi yang sangat beracun dan reaktif dengan tingkat paparan yang diperbolehkan sangat rendah. Hanya izinkan pegawai terlatih untuk bekerja dengan Flour. Semua orang yang

berencana bekerja dengan Flour harus mengetahui perawatan P3K yang tepat dan memiliki pasokan yang diperlukan sebelum mulai bekerja.

- **Senyawa halogen**, seperti kloroform ($CHCl_3$), karbon tetraklorida (CCl_4), dan pelarut halogen lainnya, tidak boleh dikeringkan dengan natrium, kalium, atau logam aktif lainnya. Umumnya menghasilkan ledakan kuat. Banyak senyawa halogen beracun. Senyawa halogen yang teroksidasi—klorat, klorit, bromat, dan iodat—dan senyawa peroksi terkait bisa meledak pada suhu tinggi.
- **Hidrogen fluorida** dan generator hidrogen fluorida sangat berbahaya. Asam fluorida anhidrat (HF) atau hidrogen fluorida adalah cairan tak berwarna yang mendidih pada suhu 19,5°C. Zat ini memiliki bau yang tajam dan menyebabkan iritasi dan paparan rata-rata waktu tertimbang 3 ppm untuk pekerjaan rutin. HF cair adalah cairan yang tak berwarna dan sangat korosif dan berasap pada konsentrasi lebih dari 48%. Zat ini merusak kaca, beton, dan beberapa logam, terutama besi cor dan paduan yang mengandung silika, serta bahan organik seperti kulit, karet alami, kayu, dan jaringan tubuh manusia. Meskipun HF bukan bahan yang mudah terbakar, aksi korosifnya pada logam bisa menyebabkan terbentuknya hidrogen di wadah dan pipa, sehingga menimbulkan bahaya kebakaran dan ledakan. Simpan HF di wadah polietilena yang tertutup rapat. HF merusak kaca dan oleh karena itu tidak boleh sekali-kali disimpan di wadah kaca. Wadah HF mungkin berbahaya jika kosong karena wadah menyimpan sisa-sisa produk. HF dan bahan terkait (misalnya, NaF, SF_4, asil fluorida) yang dapat menghasilkan HF jika terpapar asam, air, atau kelembapan merupakan masalah utama karena berpotensi menyebabkan luka bakar serius.

  HF menyebabkan cedera parah melalui kontak kulit dan mata, penghirupan, dan pencernaan. Zat ini sangat agresif secara fisiologis karena ion fluorida mudah menembus kulit, sehingga menyebabkan kerusakan lapisan jaringan dalam dan hilangnya kalsium tulang. Berbeda dengan asam lain, yang dapat dinetralkan dengan cepat, proses ini mungkin berlanjut selama beberapa hari jika tidak diobati. Jika terpapar udara, larutan pekat dan HF anhidrat menghasilkan bau tajam, yang sangat berbahaya. Kontak kulit dengan HF bisa menyebabkan luka bakar yang serius dan menusuk di kulit yang mungkin tidak terasa sakit atau tidak terlihat selama beberapa jam. Paparan HF memerlukan pertolongan pertama dan pengobatan medis yang cepat dan khusus.

Ada sejumlah cara untuk mencegah paparan HF:

- Gunakan HF hanya jika diperlukan. Pertimbangkan zat pengganti yang tidak terlalu berbahaya jika memungkinkan.
- Buatlah prosedur operasi standar untuk bekerja dengan HF.
- Pastikan bahwa semua pekerja di laboratorium tempat digunakannya HF diberi informasi tentang bahaya dan prosedur pertolongan pertama yang diperlukan.
- Gunakan HF di tudung kimia saja.
- Tergantung konsentrasi yang digunakan, pekerja harus mengenakan sarung tangan karet butil, neoprena, 4H, atau berpelindung perak. Kenakan juga jas atau apron pelindung laboratorium.
- Setidaknya, kenakan kaca mata pelindung percikan bahan kimia jika bekerja dengan HF. Kenakan juga pelindung wajah jika ada bahaya percikan yang signifikan.

Latih pegawai laboratorium tentang prosedur pertolongan pertama untuk paparan HF sebelum mereka mulai bekerja. Biarkan agar gel kalsium glukonat (2,5% w/w) mudah diakses di area kerja yang terdapat kemungkinan paparan HF. Periksa tanggal kedaluwarsa pasokan gel kalsium glukonat Anda yang diperoleh secara komersial, dan pesan kembali seperlunya untuk memastikan tersedianya pasokan baru. Gel kalsium glukonat buatan rumah memiliki masa penyimpanan sekitar empat bulan.

- **Hidrogen peroksida (H_2O_2)** yang lebih pekat daripada 3% bisa berbahaya; jika terkena kulit, bisa mengakibatkan luka bakar parah. H_2O_2 tiga puluh persen bisa terurai dengan kuat jika terkontaminasi dengan besi, tembaga, kromium, atau logam lainnya atau dalam bentuk garamnya. Batang pengaduk bisa jadi mereaksikan logam secara tidak sengaja dan harus digunakan dengan hati-hati.
- **Perangkap berpendingin nitrogen cair** yang terbuka ke udara memadatkan udara cair dengan cepat. Jika cairan pendingin dihilangkan, maka akan terjadi peningkatan tekanan yang mudah meledak, biasanya dengan daya yang cukup kuat untuk memecahkan peralatan dari kaca jika sistem ditutup. Hanya peralatan berperapat atau dievakuasi yang boleh didinginkan dengan cara ini. Jangan biarkan

perangkap vakum dalam keadaan vakum statik. Buang nitrogen cair dalam labu Dewar dari perangkap ini saat pompa vakum dimatikan.

- **Litium aluminium hidrida ($LiAlH_4$)** tidak boleh digunakan untuk mengeringkan metil eter atau tetrahidrofuran. Api dari reaksi dengan eter lembap sering terlihat. Reaksi $LiAlH_4$ dengan karbon dioksida dilaporkan menghasilkan produk yang mudah meledak. Jangan gunakan pemadam api karbon dioksida atau bikarbonat untuk kebakaran akibat $LiAlH_4$. Sebaliknya, padamkan api serupa dengan pasir atau beberapa zat lembam lainnya.
- **Senyawa nitrat, nitro, dan nitroso** bisa jadi mudah meledak, utamanya jika terdapat lebih dari satu kelompok nitro. Alkohol dan and poliol membentuk ester nitrat yang sangat mudah meledak (msl., nitrogliserin) dari reaksi dengan asam nitrat.
- **Organologam** mungkin berbahaya karena beberapa senyawa organometalik mudah terbakar jika terkena udara atau kelembapan. Misalnya, larutan *t*-butillithium menyulut beberapa pelarut organik jika terpapar udara. Dapatkan informasi terkait untuk senyawa khusus.
- **Tabung oksigen** harus ditangani dengan hati-hati karena ledakan serius terjadi akibat kontak antara minyak dan oksigen bertekanan tinggi. Jangan menggunakan minyak atau oli pada sambungan silinder O_2 atau saluran gas yang berisi O_2.
- **Ozon (O_3)** adalah gas beracun yang sangat reaktif. Ozon terbentuk akibat aksi sinar ultraviolet pada oksigen (udara). Maka dari itu, sumber ultraviolet tertentu mungkin memerlukan ventilasi ke cerobong buang. Ozonida bisa mudah meledak.
- **Paladium (Pd) atau platinum (Pt)** pada karbon, platinum oksida, nikel Raney, dan katalis lainnya menimbulkan bahaya ledakan jika tambahan katalis ditambahkan ke labu yang berisi campuran uap atau hidrogen yang mudah terbakar di udara. Hindari penggunaan kertas saring yang mudah terbakar.
- **Perklorat** harus dihindari jika memungkinkan. Garam perklorat dari kation organik, organometalik, dan anorganik berpotensi meledak karena pemanasan atau goncangan. Jika memungkinkan, ganti perklorat dengan anion yang lebih aman, seperti fluoroborat, fluorofosforat, dan triflat.

  Jangan menggunakan perklorat sebagai bahan pengering jika kemungkinan terjadi kontak dengan senyawa organik atau berdekatan dengan asam pendehidrasi yang cukup kuat untuk memekatkan asam perklorat ($HClO_4$) (msl., di wadah pengeringan yang memiliki pencacah

gelembung yang mengandung asam sulfat). Gunakan bahan pengering yang lebih aman.

$HClO_4$ tujuh puluh persen mendidih dengan aman pada suhu sekitar 200°C, tetapi kontak dengan asam tak encer yang mendidih atau uap panas dengan materi organik, atau bahkan dengan materi anorganik yang mudah teroksidasi, dapat mengakibatkan ledakan serius. Jangan biarkan zat yang mudah teroksidasi bersinggungan dengan $HClO_4$. Ini meliputi bagian atas bangku kayu atau tutup tudung kimia, yang bisa sangat mudah terbakar setelah menyerap cairan atau uap $HClO_4$. Gunakan tang pemecah, bukannya sarung tangan karet, saat menangani $HClO_4$ yang berbau.

Lakukan evaporasi asam perklorat di tudung kimia yang memiliki rancangan bagus. Sering cuci tudung dan saluran ventilasi dengan air untuk menghindari bahaya pembakaran atau ledakan mendadak jika asam ini sering digunakan. Tudung $HClO_4$ khusus tersedia di banyak pabrikan. Mulai pembongkaran tudung kimia serupa dengan mencuci sistem ventilasi untuk menghilangkan tumpukan perklorat.

- **Permanganat** mudah meledak jika ditangani dengan asam sulfat. Jika kedua senyawa digunakan di wadah penyerapan, letakkan perangkap kosong antara senyawa tersebut lalu pantau perangkap tersebut.
- **Peroksida (anorganik)** harus ditangani dengan hati-hati. Jika dicampur dengan bahan yang mudah terbakar, barium, natrium, dan kalium peroksida membentuk bahan peledak yang mudah tersulut.
- **Fenol** adalah zat korosif dan sedikit beracun yang mempengaruhi sistem syaraf pusat dan dapat mengakibatkan kerusakan pada hati dan ginjal. Fenol mudah diserap kulit dan bisa menyebabkan luka bakar parah pada kulit dan mata. Fenol menyebabkan iritasi pada kulit, tetapi memiliki efek bius lokal, sehingga mungkin tidak terasa sakit pada awal kontak. Biasanya terjadi pemutihan pada area kontak, dan luka bakar parah bisa berkembang beberapa jam kemudian setelah pemaparan. Paparan pada uap fenol dapat menyebabkan iritasi parah pada mata, hidung, tenggorokan, dan saluran pernapasan. Jika kulit terpapar fenol, jangan segera bilas bagian itu dengan air. Sebaliknya, tangani area yang terkena fenol menggunakan polietilen glikol (PEG) dengan berat molekul rendah, seperti PEG 300 atau PEG 400. Ini akan menonaktifkan fenol dengan aman. Bilas area tersebut dengan PEG minimal selama 15 menit atau hingga tidak tercium bau fenol.
- **Fosfor (P) (merah dan putih)** membentuk campuran yang mudah meledak dengan bahan pengoksidasi. Simpan fosfor putih di dalam air

karena mudah terbakar di udara. Reaksi fosfor dengan hidroksida cair menghasilkan fosfina, yang mudah terbakar atau meledak di udara.

- **Fosfor triklorida (PCl_3)** bereaksi dengan air untuk membentuk asam fosfor dengan pengembangan HCl. Asam fosfor terurai saat dipanaskan untuk membentuk fosfina, yang mudah terbakar atau meledak. Hati-hati saat membuka wadah PCl_3. Jangan panaskan sampel yang sudah terpapar pada kelembapan tanpa pelindung yang memadai untuk melindungi operator.
- **Kalium (K)** jauh lebih reaktif daripada natrium. Kalium mudah terbakar jika terpapar udara lembap. Maka dari itu, tangani kalium di bawah permukaan pelarut hidrokarbon, seperti minyak mineral atau toluena (lihat Natrium). Kalium dapat membentuk kerak superoksida (KO_2) atau hidroksida terhidrat ($KOH \cdot H_2O$) jika terkena udara. Jika ini terjadi, tindakan memotong permukaan kerak dari logam atau melelehkan logam yang berkerak dapat mengakibatkan ledakan dahsyat. Ini akibat oksidasi minyak organik atau pelarut oleh superoksida atau reaksi kalium dengan air yang dihasilkan dari hidroksida terhidrat.
- **Residu dari distilasi vakum** dikenal mudah meledak jika uap hasil sulingan tiba-tiba dilepaskan ke udara sebelum residu mendingin. Untuk menghindari ledakan serupa, angin-anginkan wadah sulingan dengan nitrogen, dinginkan sebelum dilepaskan, atau kembalikan tekanannya secara perlahan. Pelepasan secara tiba-tiba bisa menghasilkan gelombang kejut yang meledakkan bahan sensitif.
- **Natrium (Na)** harus disimpan pada wadah tertutup di bawah kerosen, toluena, atau minyak mineral. Hancurkan sisa natrium atau kalium melalui reaksi dengan *n*-butil alkohol. Hindari kontak dengan air, karena natrium bereaksi kuat dengan air untuk membentuk hidrogen (H_2) dengan peningkatan panas yang cukup mengakibatkan percikan. Jangan gunakan pemadam api karbon dioksida, bikarbonat, dan karbon tetraklorida pada kebakaran logam alkali. Logam seperti natrium menjadi lebih reaktif seiring dengan meningkatnya area permukaan partikel. Gunakan ukuran partikel terbesar sesuai dengan tugas yang sedang dilakukan. Misalnya, penggunaan bola atau kubus natrium lebih disukai daripada penggunaan pasir natrium untuk pelarut pengeringan.
- **Natrium amida ($NaNH_2$)** dapat mengalami oksidasi jika terpapar udara untuk menghasilkan natrium nitrit dalam campuran yang tidak stabil dan mudah meledak.

- **Asam sulfat (H_2SO_4)** sebisa mungkin dihindari untuk digunakan sebagai bahan pengering dalam desikator. Jika harus digunakan, letakkan manik-manik kaca di dalamnya untuk membantu mencegah percikan jika desikator dipindahkan. Untuk mengencerkan H_2SO_4, tambahkan asam secara perlahan pada air dingin. Penambahan air pada bahan pemadat H_2SO_4 dapat menyebabkan pendidihan permukaan setempat dan percikan pada operator.
- **Trikloroetilena (Cl_2CCHCl)** bereaksi dalam berbagai kondisi dengan kalium atau natrium hidroksida untuk membentuk dikloroasetilen. Zat ini mudah terbakar di udara dan mudah meledak bahkan pada suhu es kering. Senyawanya sangat beracun; gunakan tindakan pencegahan yang sesuai jika senyawa ini digunakan.

I

I.1. Tindakan Pencegahan jika Bekerja dengan Peralatan Khusus

Setiap peralatan listrik di laboratorium memiliki pertimbangan keselamatan masing-masing.

Peralatan Berpendingin Air

Gunakan pengatur sirkulasi dingin untuk mendinginkan peralatan laboratorium, karena hemat air dan mengurangi kemungkinan dan dampak banjir.

Pompa Vakum

Hindari menggunakan aspirator air. Distilasi atau operasi serupa yang memerlukan vakum harus menggunakan perangkat perangkap untuk melindungi sumber vakum, pegawai, dan lingkungan. Lepaskan output masing-masing pompa pada sistem pembuangan udara yang sesuai. Lap atau serap gas yang keluar dari pompa. Keluarkan, ganti, dan buang minyak pompa dengan tepat jika terkontaminasi. Pompa vakum laboratorium serba-guna harus memiliki catatan penggunaan untuk mencegah kontaminasi silang atau masalah ketidaksesuaian bahan kimia reaktif. Pompa mekanik yang dijalankan oleh sabuk harus memiliki pengaman.

Lemari Es dan Freezer

- ***Jangan gunakan lemari es dan freezer laboratorium untuk menyimpan makanan atau minuman untuk dikonsumsi manusia.*** Lemari es dan freezer laboratorium harus memiliki label permanen yang berisi peringatan tentang penyimpanan makanan dan minuman.
- Sebagai tindakan pencegahan umum, letakkan lemari es laboratorium pada dinding yang tahan api. Lemari es harus memiliki kabel daya tugas berat dan dilindungi oleh pemutus daya lemari es itu sendiri.
- Letakkan isi lemari es laboratorium pada perangkat pengaman sekunder yang anti pecah. Setidaknya, gunakan panci penangkap untuk perangkat pengaman sekunder.
- Jangan letakkan zat yang mungkin meledak atau sangat beracun di dalam lemari es laboratorium.
- Gunakan lemari es tahan ledakan untuk menyimpan bahan yang mudah terbakar, bukannya lemari es tahan percikan yang dimodifikasi.
- Jangan pernah meletakkan wadah bahan kimia terbuka di dalam lemari es. Penutup harus memiliki perapat kedap uap untuk mencegah terjadinya tumpahan jika wadah terbalik. Jangan menggunakan aluminium foil, gabus, gabus yang dibungkus dengan aluminium foil, dan sumbat kaca untuk menutup wadah bahan kimia di dalam lemari es. Perapat sementara yang paling sesuai adalah tutup berulir yang dilapisi dengan sisipan polietilena atau sisipan Teflon berbentuk kerucut. Wadah paling baik untuk sampel yang akan disimpan untuk waktu yang lama adalah ampul kaca yang diisi nitrogen dan berperapat.
- Dengan cermat, labeli semua sampel yang diletakkan di dalam lemari es dan freezer dengan nama isi beserta pemiliknya. Jangan gunakan tinta yang mudah larut dalam air. Label harus tahan air atau ditutupi isolasi transparan. Menyimpan sampel dengan pertimbangan kesesuaian bahan kimia sangat penting di ruangan yang kecil dan ramai ini.

Perangkat Pengaduk dan Pencampur

Perangkat pengaduk dan pencampur yang biasa ditemukan di laboratorium meliputi motor pengaduk, pengaduk magnetik, alat kocok, pompa kecil untuk cairan, dan evaporator putar untuk menghilangkan pelarut. Perangkat ini khusus digunakan di tudung kimia. Pengoperasian perangkat ini dengan cara yang mengurangi timbulnya

percikan listrik sangat penting. Hanya gunakan motor induksi bebas percikan dalam menggerakkan perangkat pengaduk dan pencampur atau peralatan berputar lainnya yang digunakan untuk operasional laboratorium.

Pastikan bahwa jika terjadi keadaan darurat, perangkat pengaduk dan pencampur bisa dihidupkan atau dimatikan dari lokasi di luar tudung. Rendaman pemanas yang terkait dengan perangkat ini (msl., rendaman untuk evaporator putar) juga harus bebas percikan dan bisa dikendalikan dari luar tudung.

Perangkat Pemanas

Mungkin jenis peralatan listrik paling umum yang ditemukan di laboratorium adalah perangkat yang digunakan untuk memasok panas untuk mempengaruhi reaksi atau pemisahan. Perangkat ini meliputi oven, pelat hangat, selubung dan pita pemanas, rendaman minyak, rendaman garam, rendaman pasir, rendaman udara, tungku tabung-panas, mesin pemanas udara, dan oven gelombang mikro. Gunakan perangkat berpemanas uap daripada perangkat berpemanas listrik jika suhu yang diperlukan 100°C atau kurang. Perangkat berpemanas uap bisa dibiarkan tidak dijaga dengan jaminan bahwa suhunya tidak akan melampaui 100°C, karena tidak menimbulkan risiko kejutan atau percikan.

Sejumlah tindakan pencegahan umum harus digunakan jika bekerja dengan perangkat pemanas di laboratorium. Elemen pemanas pada perangkat pemanas harus dimasukkan ke dalam kotak logam kaca, keramik, atau berinsulasi agar pekerja atau konduktor logam tidak menyentuh kabel yang memuat arus listrik tanpa sengaja. Jangan gunakan peralatan rumah tangga kebanyakan (msl., pelat panas, pemanas ruangan) di laboratorium karena tidak memenuhi kriteria ini. Jika perangkat pemanas aus atau rusak sehingga elemen pemanasnya terpapar, buang atau perbaiki perangkat tersebut untuk memperbaiki kerusakannya sebelum digunakan kembali. Tidak boleh ada kabel telanjang pada perangkat resistansi yang digunakan untuk memanaskan rendaman minyak.

Kotak eksternal dari semua ototransformer variabel memiliki rongga untuk pendinginan dan ventilasi, dan beberapa percikan mungkin terjadi jika kenop penyesuaian voltase diputar. Maka dari itu, letakkan perangkat ini di mana air dan bahan kimia lainnya tidak mungkin tumpah ke dalamnya dan bagian bergerak tidak akan terpapar ke cairan atau uap yang mudah terbakar. Pasang ototransformer variabel pada dinding atau panel vertikal dan di luar tudung. Jangan hanya meletakkannya pada bagian atas bangku laboratorium.

Jika menggunakan perangkat pemanas listrik, gunakan pengontrol suhu atau perangkat sensor suhu yang akan mematikan daya listrik jika suhu perangkat pemanas melampaui beberapa batas yang sudah ditentukan sebelumnya. Penting

sekali bahwa perangkat sensor suhu dikencangkan dengan aman atau dipasang dengan kuat pada tempatnya sehingga perangkat selalu bersinggungan dengan objek atau media yang sedang dipanaskan. Jika sensor suhu untuk pengontrol tidak dipasang dengan tepat atau tidak pada tempatnya, pengontrol akan terus memasok daya hingga sensor mencapai pengaturan suhu. Ini bisa menimbulkan situasi yang sangat berbahaya.

Pelat panas, rendaman minyak dan selubung panas yang bisa melelehkan dan membakar bahan plastik (msl., vial, wadah, tabung) dapat mengakibatkan kebakaran laboratorium. Tiadakan bahaya dari area di sekitar peralatan sebelum digunakan. Waspadai bahwa residu kering dan pekat bisa tersulut jika dipanaskan berlebih pada bejana, oven, pengering, dan perangkat pemanas lainnya.

Oven

Oven berpemanas listrik umum digunakan di laboratorium untuk menghilangkan air atau pelarut lainnya dari sampel bahan kimia dan mengeringkan pecah belah laboratorium. *Jangan pernah menggunakan oven laboratorium untuk menyiapkan makanan yang akan dikonsumsi manusia.*

Elemen pemanas dan kendali suhu oven laboratorium harus dipisahkan secara fisik dari udara interiornya. Jangan menggunakan oven untuk mengeringkan sampel bahan kimia dengan volatilitas rendah dan mungkin menimbulkan bahaya akibat toksisitas akut atau kronis. Jika perlu menggunakan oven untuk tujuan ini, gunakan tindakan pencegahan khusus untuk memastikan ada aliran udara yang terus-menerus di dalam oven.

Untuk menghindari ledakan, jangan gunakan oven untuk mengeringkan pecah belah yang dibilas dengan pelarut organik. Pertama, bilas kembali pecah belah dengan air distilasi. Campuran yang berpotensi meledak mungkin terbentuk dari zat yang mudah menguap dan udara di dalam oven.

Gunakan termometer pita dwilogam untuk memantau suhu oven.

Pelat Panas

Banyak pekerja yang menggunakan pelat panas laboratorium untuk memanaskan larutan hingga suhu 100°C atau lebih atau jika rendaman uap yang lebih aman tidak bisa digunakan sebagai sumber panas. Hanya gunakan pelat panas yang sepenuhnya menutupi elemen panas. Bedakan kendali untuk pengaduk dan suhu pada gabungan pengaduk-pelat panas. Kebakaran atau ledakan bisa terjadi jika suhu, bukannya kecepatan pengaduk, ditingkatkan secara tidak sengaja.

Selubung Pemanas

Selubung pemanas umumnya digunakan untuk memanaskan labu dasar bulat, ketel reaksi, dan bejana reaksi terkait. Selubung ini menutupi elemen pemanas pada lapisan kain serat kaca. Selama lapisan serat kaca tidak aus atau rusak, dan selama tidak ada air atau bahan kimia lain yang tumpah pada selubung, selubung pemanas hanya menimbulkan bahaya kejut minimal. Selalu gunakan selubung pemanas dengan ototransformer variabel untuk mengontrol tegangan masukan. Jangan pernah mencolokkan selubung pemanas langsung ke outlet listrik.

Rendaman Minyak, Garam, dan Pasir

Rendaman minyak berpemanas listrik sering digunakan untuk memanaskan bejana kecil atau yang bentuknya tidak teratur atau untuk menjaga suhu konstan dengan sumber panas yang stabil. Gunakan minyak parafin jenuh untuk suhu di bawah 200°C. Gunakan minyak silikon untuk suhu hingga 300°C. Hati-hati agar rendaman minyak panas tidak menghasilkan asap atau agar minyak tidak terbakar akibat panas berlebih. Selalu pantau rendaman minyak dengan menggunakan termometer atau alat ukur suhu lainnya untuk memastikan bahwa suhunya tidak melebihi titik nyala minyak yang digunakan.

Campurkan rendaman minyak dengan baik untuk memastikan bahwa tidak ada "titik panas" di sekitar elemen yang menyebabkan suhu minyak di sekitarnya tidak dapat diterima. Tampung minyak panas baik di panci logam atau pinggan porselen berdinding berat. Pinggan atau gelas piala Pyrex dapat pecah dan menumpahkan minyak panas jika tidak sengaja terbentur benda keras.

Pasang rendaman minyak dengan hati-hati pada penyangga horizontal yang stabil, seperti jack laboratorium yang dapat dinaikkan atau diturunkan dengan mudah tanpa bahaya tumpahnya rendaman. Selalu jepit peralatan cukup tinggi di atas pelat panas atau rendaman minyak sehingga jika reaksi mulai kelebihan panas, pemanas dapat segera diturunkan dan diganti dengan rendaman pendingin tanpa perlu menyesuaikan kembali penjepit yang menyangga pengaturan peralatan. Jangan menyangga rendaman pada cincin besi karena kemungkinan tumpahnya rendaman secara tidak disengaja lebih besar. Sediakan perangkat pengaman sekunder jika terjadi tumpahan minyak panas. Kenakan sarung tangan pelindung saat menangani rendaman panas.

Rendaman garam cair, seperti rendaman minyak panas, menawarkan kemungkinan keunggulan transfer panas yang baik, rentang pengoperasian lebih tinggi (msl., 200 sampai 425°C), dan stabilitas suhu tinggi (msl., 540°C). Wadah reaksi yang digunakan dalam rendaman garam cair harus dapat bertahan dalam peningkatan

panas yang sangat cepat hingga suhu di atas titik lebur garam. Perhatikan untuk mempertahankan rendaman garam agar tetap kering karena bersifat higroskopis, sifat yang dapat menyebabkan letupan dan percikan berbahaya jika air yang diserap menguap selama peningkatan panas.

Senapan Kalor

Senapan kalor laboratorium dibuat dengan kipas berpenggerak motor yang meniupkan udara melalui filamen berpemanas listrik. Senapan ini sering digunakan untuk mengeringkan pecah belah atau memanaskan bagian atas peralatan distilasi selama distilasi bahan yang memiliki titik didih tinggi. Elemen pemanas dalam senapan kalor biasanya berpijar merah selama digunakan dan, karena itu, tidak dapat ditutup. Selain itu, saklar on-off dan motor kipas biasanya tidak bebas pijar. Karena itu, senapan kalor hampir selalu menimbulkan bahaya pijar serius. Jangan menggunakannya di dekat wadah terbuka yang berisi cairan mudah terbakar, di lingkungan yang mungkin memiliki uap mudah terbakar dalam konsentrasi signifikan, atau dalam tudung kimia yang digunakan untuk membuang uap yang mudah terbakar.

Oven Gelombang Mikro

Pemanasan gelombang mikro menyebabkan beberapa potensi bahaya yang biasanya tidak ditemui dengan metode pemanasan lainnya. Peningkatan suhu dan tekanan yang sangat cepat, super-pemanasan pada cairan, pembusuran, dan kebocoran gelombang mikro adalah masalah utama. Oven gelombang mikro yang dirancang untuk laboratorium memiliki fitur keselamatan internal dan prosedur pengoperasian untuk mengurangi atau menghilangkan bahaya ini. Pengguna peralatan tersebut harus sepenuhnya memahami prosedur pengoperasian dan perangkat operasi serta perangkat dan protokol keselamatan sebelum memulai eksperimen, terutama jika ada kemungkinan terjadinya kebakaran (dengan pelarut yang mudah terbakar), tekanan berlebih, atau pembusuran (untuk informasi lebih lanjut lihat Foster, B. L.; Cournoyer, M. E. 2005. *Chemical Health & Safety* 12: 27). Di bawah ini beberapa tindakan pencegahan untuk penggunaan oven gelombang mikro.

- Oven gelombang mikro rumah tangga tidak sesuai untuk penggunaan laboratorium. Gunakan oven gelombang mikro yang dirancang secara khusus untuk penggunaan laboratorium yang memiliki instrumen tingkat industri, kamar anti ledakan, saluran pembuangan, serta monitor suhu dan tekanan.

- Untuk menghindari paparan terhadap gelombang mikro, jangan sekali-kali mengoperasikan oven dengan pintu terbuka.
- Perhatikan dengan saksama reaksi yang terjadi di dalam oven gelombang mikro, terutama jika di dalamnya terdapat bahan yang mudah terbakar. Lakukan reaksi dengan skala sekecil mungkin untuk menentukan potensi ledakan dan kebakaran. Lakukan tindakan pencegahan untuk ventilasi yang sesuai dan potensi ledakan.
- Jangan menggunakan wadah logam atau benda yang mengandung logam (msl., batang pengaduk) di dalam gelombang mikro, karena dapat menyebabkan pembusuran.
- Secara umum, jangan memanaskan wadah berperapat di dalam oven gelombang mikro, karena bahaya ledakan.

Ultrasonikator

Paparan manusia terhadap ultrasonik dengan frekuensi antara 16 dan 100 kHz dapat dibagi menjadi tiga kategori yang khas: (1) konduksi melalui udara, (2) kontak langsung melalui perantara pengikat cairan, dan (3) kontak langsung dengan zat padat yang bergetar.

Paparan terhadap suara ultrasonik dengan konduksi melalui udara tampaknya tidak menimbulkan bahaya signifikan terhadap manusia. Tetapi, paparan terhadap suara dengar dengan volume tinggi dapat menimbulkan berbagai pengaruh, termasuk kelelahan, sakit kepala, mual, dan telinga berdengung. Peralatan ultrasonik harus disimpan dalam kotak kayu setebal 2 cm atau dalam kotak yang dilapisi dengan busa atau ubin yang menyerap secara akustik untuk mengurangi emisi akustik secara signifikan (sebagian besar di antaranya tidak dapat didengar).

Hindari kontak langsung antara tubuh dengan cairan atau zat padat yang terkena suara ultrasonik dengan intensitas tinggi yang memicu reaksi kimia. Dalam beberapa kondisi kimia, peronggaan terbentuk dalam cairan, dan hal ini dapat mempengaruhi kimia berenergi tinggi dalam cairan dan jaringan. Kematian sel karena kerusakan membran dapat terjadi bahkan pada intensitas akustik relatif rendah. Paparan terhadap zat padat yang bergetar secara ultrasonik, seperti terompet akustik, dapat menyebabkan pemanasan gesekan cepat dan berpotensi menimbulkan luka bakar parah.

Alat Sentrifuga

Pasang alat sentrifuga dengan benar, dan hanya izinkan pegawai terlatih untuk mengoperasikannya. Alat sentrifuga dirancang untuk digunakan dengan rotor tertentu. Rotor diberi peringkat untuk kecepatan maksimal dan muatan berat tertentu. Hindari risiko kegagalan rotor. Muatan harus diseimbangkan setiap kali alat sentrifuga digunakan dan untuk memastikan bahwa penutup telah ditutup sebelum menyalakan alat sentrifuga. Jangan membebani rotor muatan melampaui massa maksimal rotor tanpa mengurangi kecepatan rotor ternilai. Saklar pemutus harus mematikan peralatan secara otomatis saat bagian atas dibuka. Ikuti petunjuk pabrikan untuk kecepatan pengoperasian yang aman. Jangan menjalankan rotor di luar kecepatan maksimal yang ditentukan. Periksa rotor secara rutin untuk menemukan tanda-tanda korosi. Kelelahan logam pada akhirnya akan menyebabkan rotor mana pun mengalami kegagalan. Pastikan Anda mematuhi panduan pabrikan tentang waktu mengistirahatkan rotor. Untuk bahan yang mudah terbakar dan/atau berbahaya, alat sentrifuga harus memiliki tekanan di bawah negatif ke sistem pembuangan yang sesuai.

Sumber Sinar Tampak, Ultraviolet, dan Laser Inframerah

Tutup atau bungkus sumber cahaya ultraviolet langsung atau pantulan, lampu busur, dan sinar inframerah untuk mengurangi paparan berlebih bila memungkinkan. Kenakan kacamata keselamatan dengan peringkat yang tepat, kaca mata pelindung percikan bahan kimia, dan/atau pelindung wajah untuk perlindungan mata. Kenakan pakaian lengan panjang dan sarung tangan untuk melindungi lengan dan tangan dari paparan.

Operasikan laser berenergi tinggi hanya di area khusus yang ditandai dengan "laser-controlled" (dikendalikan laser). Tidak ada seorang pun kecuali operator sistem laser yang berwenang yang boleh memasuki laboratorium yang ditandai "laser-controlled" ("dikendalikan laser") saat laser sedang digunakan.

Sumber Frekuensi Radio dan Gelombang Mikro

Perangkat lainnya yang digunakan di laboratorium selain oven gelombang mikro juga dapat mengeluarkan emisi gelombang mikro atau frekuensi radio berbahaya. Latih personel yang bekerja dengan perangkat ini tentang pengoperasian yang benar dan tindakan untuk mencegah paparan terhadap emisi berbahaya. Pelindung dan penutup pelindung harus berada dalam posisi yang benar saat peralatan

beroperasi. Pasang tanda peringatan di atau di dekat perangkat ini untuk melindungi orang yang mengenakan alat pacu jantung.

Sistem Resonansi Magnet Inti (Nuclear Magnetic Resonance, NMR)

Karena gaya tarik NMR yang besar, banyak benda feromagnetik, seperti kunci, gunting, pisau, kunci Inggris, alat lainnya, tabung oksigen, mesin pengkilap, dan kursi roda harus dikeluarkan dari sekitar magnet. Hal ini dilakukan untuk melindungi pegawai dan peralatan laboratorium, juga kualitas data.

Bahkan medan magnet periferal yang relatif kecil dapat merusak kartu kredit, diska komputer, dan benda magnetik lainnya. Pasang peringatan dan batasi area dengan 10 hingga 20 gauss (G) pada baris 5-G dengan tali. Batasi akses hanya untuk staf ahli. Orang yang menggunakan alat pacu jantung dan perangkat prostetik elektronik maupun elektromagnetik lainnya harus dijauhkan dari sumber elektromagnet yang kuat.

Magnet superkonduktor menggunakan cairan pendingin nitrogen cair dan helium cair. Patuhi tindakan pencegahan yang terkait dengan penggunaan cairan kriogenik. (Lihat juga Bab 10, Bagian 4.3.)

I.2. Panduan jika Bekerja dengan Peralatan bertekanan yang Dimampatkan Khusus

Perangkat Pelepas Tekanan

Lindungi semua sistem tekanan atau vakum dan semua bejana yang mungkin mendapat tekanan atau vakum dengan memasangnya dengan benar dan menguji perangkat pelepas tekanannya. Eksperimen yang melibatkan bahan sangat reaktif yang dapat meledak juga memerlukan penggunaan perangkat pelepas tekanan khusus dan mungkin harus dioperasikan pada sebagian tekanan kerja sistem yang diizinkan.

Pengukur Tekanan

Pilihan dan penggunaan pengukur tekanan yang tepat melibatkan beberapa faktor, termasuk kemudahbakaran, kemudahmampatan, korosivitas, toksisitas, suhu, dan rentang tekanan cairan yang akan digunakan. Secara umum, pilih pengukur dengan rentang dua kali tekanan kerja sistem.

Pengukur tekanan biasanya merupakan titik lemah di sistem tekanan mana pun karena elemen pengukurnya harus beroperasi di zona elastis logam yang terlibat. Gunakan pengukur diafragma dengan gas atau cairan korosif atau dengan cairan kental yang akan menghancurkan tabung Bourdon baja atau perunggu.

Pertimbangkan metode alternatif pengukuran tekanan yang dapat memberi keselamatan lebih besar dibanding penggunaan pengukur tekanan secara langsung. Metode semacam itu mencakup penggunaan perapat atau perangkat isolasi lainnya dalam saluran pengukur tekanan, perangkat observasi tidak langsung, dan pengukuran jarak jauh menggunakan tranduser 'strain-gauge' dengan tampilan digital.

Pasang pengukur tekanan sehingga dapat dibaca dengan mudah selama operasi. Pengukur tekanan sering kali memiliki perangkat pelepas tekanan internal. Pastikan bahwa jika terjadi kegagalan, perangkat pelepas ini diatur sehingga arahnya menjauh dari orang-orang.

Pipa, Tabung, dan Fiting

Pemilihan dan perakitan komponen yang tepat dalam sistem tekanan adalah faktor keselamatan yang penting. Pertimbangkan bahan yang digunakan dalam membuat komponen, kompatibilitasnya dengan bahan yang akan mendapat tekanan, alat yang digunakan untuk perakitan, dan keandalan sambungan yang sudah selesai.

Jangan menggunakan minyak atau pelumas jenis apa pun dalam sistem tabung dengan oksigen karena kombinasi tersebut menimbulkan bahaya ledakan. Fiting kuningan murni dan stainless steel masing-masing harus digunakan dengan tabung tembaga atau kuningan dan baja atau stainless steel. Fiting jenis ini harus dipasang dengan benar. Jangan mencampurkan berbagai merek fiting tabung dalam rakitan peralatan yang sama karena komponen konstruksi sering kali tidak saling menggantikan.

Peralatan Kaca

Bila memungkinkan, hindari penggunaan peralatan kaca untuk bekerja pada tekanan tinggi. Kaca adalah bahan yang rapuh. Bahan ini dapat terjatuh dengan tidak sengaja karena benturan mekanik dan tekanan perakitan atau pengencangan. Pelunakan yang buruk setelah peniupan kaca dapat menyebabkan tegangan parah. Peralatan kaca yang tergabung dalam sistem tekanan logam, seperti rotameter dan pengukur tingkat cairan, harus memiliki katup penutup di kedua ujung untuk mengendalikan pembuangan bahan cair atau atau gas jika terjadi kerusakan. Pengukur aliran massa tersedia yang dapat menggantikan rotameter pada aplikasi yang diinginkan.

Peralatan Plastik

Secara umum, jangan menggunakan peralatan plastik untuk pekerjaan tekanan atau vakum. Tigon dan tabung plastik serupa memiliki aplikasi yang cukup terbatas dalam pekerjaan bertekanan. Bahan ini dapat digunakan untuk hidrokarbon dan larutan paling berair pada suhu ruang dan tekanan sedang. Tabung plastik diperkuat yang dapat bertahan pada tekanan tinggi juga tersedia. Tetapi, tabung yang longgar di bawah tekanan dapat menyebabkan kerusakan fisik karena guncangannya.

Katup

Katup hadir dalam berbagai jenis, bahan penyusun, serta nilai tekanan dan suhu. Bahan penyusun (komponen logam, elastomer, dan plastik) harus kompatibel dengan gas dan pelarut yang digunakan. Katup harus diberi peringkat untuk tekanan dan suhu yang dimaksudkan. Katup bola lebih dianjurkan dibanding katup jarum karena statusnya (on-off) dapat ditentukan dengan inspeksi visual cepat. Hanya gunakan katup pengukur atau jarum jika operasi memerlukan kendali aliran yang

cermat. Terkadang mikrometer dapat digunakan dengan katup jarum untuk memungkinkan penentuan status dengan cepat.

Gas Monitors

Monitor dan alarm elektronik tersedia untuk mencegah bahaya karena gas asfiksian, yang mudah terbakar, dan banyak gas beracun. Pertimbangkan untuk menggunakannya dalam operasi yang menggunakan gas ini, terutama dalam jumlah besar atau dengan tabung besar. Pastikan monitor diberi peringkat dengan benar untuk tujuan tertentu karena beberapa detektor dapat terganggu karena gas lain.

Aplikasi Pita Teflon

Gunakan pita Teflon pada alur pipa tirus di mana perapat dibentuk di area alur. Alur pipa tirus biasanya ditemukan dalam aplikasi di mana fiting tidak digunakan secara rutin (msl., aplikasi perpipaan gedung secara umum).

Jangan menggunakan Teflon pada alur lurus (msl., Swagelok) di tempat terbentuknya perapat melalui gasket atau dengan kontak logam-ke-logam yang dipaksa bersentuhan saat fiting dikencangkan (msl., fiting pemampatan). Perapat logam-ke-logam bekerja tanpa memerlukan pita Teflon atau bahan gasket lainnya. Jika pita Teflon digunakan saat tidak diperlukan, seperti pada fiting Asosiasi bertekanan Terkompresi (CGA, Compressed bertekanan Association), pita menyebar dan melemahkan hubungan beralur dan dapat menyumbat saluran yang tidak sengaja dimasukinya.

I.3. Tindakan Pencegahan Jika Menggunakan Peralatan Vakum Lainnya

Bejana Kaca

Meski bejana kaca sering digunakan dalam operasi vakum rendah, bejana kaca yang dievakuasi dapat terjatuh dengan keras. Hal ini dapat terjadi baik secara spontan karena tekanan atau karena tiupan yang tidak disengaja. Lakukan operasi tekanan dan vakum dalam bejana kaca di balik pelindung yang memadai. Sebaiknya Periksa kekurangan seperti retakan bintang, goresan, dan tanda etsa setiap kali peralatan vakum digunakan. Kekurangan ini sering dapat diketahui dengan memegang bejana ke arah cahaya. Hanya gunakan bejana reaksi dasar bulat atau berdinding tebal (msl., Pyrex) yang dirancang secara khusus untuk operasi dengan tekanan rendah. Jangan menggunakan bejana kaca dengan tepi bersudut atau persegi dalam aplikasi vakum, kecuali jika dirancang secara khusus untuk tujuan tersebut (msl., kaca ekstra tebal). Peralatan laboratorium dari kaca harus dilunakkan dengan benar dan diperiksa dengan polarisasi silang sebelum diberi tekanan vakum atau termal. Jangan mengevakuasi labu berdinding tebal, Erlenmeyer, atau dengan bagian bawah bulat yang lebih besar dari 1 L.

Labu Dewar

Labu Dewar berada di kondisi vakum tinggi dan dapat pecah karena guncangan suhu atau guncangan mekanik ringan. Labu ini harus dilindungi, baik dengan selapis pita friksi yang diperkuat dengan serat atau dengan kotak dalam wadah kayu atau logam. Pelindung mengurangi risiko kaca beterbangan jika labu terjatuh. Gunakan labu Dewar logam jika ada kemungkinan pecah.

Ember styrofoam dengan penutup bisa menjadi tempat penyimpanan dan pemindahan cairan kriogenik jangka pendek yang lebih aman dibanding Dewar kaca vakum. Meski tidak menginsulasi sebaik labu Dewar, ember styrofoam dapat menghilangkan bahaya ledakan di dalam.

Desikator

Desikator kaca vakum yang digunakan harus terbuat dari Pyrex atau kaca sejenis. Pastikan desikator tertutup sepenuhnya dalam pelindung atau dibalut dengan pita friksi dalam pola grid sehingga isinya terlihat dan sekaligus melindungi dari kaca yang beterbangan jika bejana meledak ke dalam. Desikator plastik (msl., polikarbonat) mengurangi risiko ledakan di dalam dan mungkin lebih disukai, tetapi juga harus

dilindungi saat dievakuasi. Dianjurkan menggunakan pengering padat. *Jangan sekali-kali membawa atau memindahkan desikator yang dievakuasi.* Berhati-hatilah saat membuka katup untuk menghindari semprotan isi desikator karena masuknya gas secara tiba-tiba.

Evaporator Putar

Komponen kaca evaporator putar harus terbuat dari Pyrex atau kaca serupa. Tutup komponen sepenuhnya dalam pelindung untuk melindungi dari kaca yang beterbangan jika komponen meledak di dalam. Secara bertahap tingkatkan kecepatan putaran dan aplikasi vakum ke labu yang pelarutnya akan diuapkan.

J

J.1. Cara Menilai Bahan yang Tidak Dikenal

Masalah pertama dalam identifikasi limbah tak dikenal adalah keselamatan. Pastikan pegawai laboratorium terlatih yang melakukan prosedur ini memahami karakteristik limbah dan semua tindakan pencegahan yang diperlukan dan harus dilakukan. Karena bahaya bahan yang sedang diuji tidak diketahui, penggunaan pelindung diri dan perangkat keselamatan yang benar, seperti tudung dan pelindung kimia, merupakan keharusan. Sampel lama sangat berbahaya karena mungkin telah berubah komposisinya, misalnya, melalui pembentukan peroksida. (Lihat Bab 9 untuk informasi lebih lanjut tentang peroksida.)

Informasi berikut ini biasanya diperlukan oleh fasilitas pembuangan penanganan sebelum mereka setuju untuk menangani bahan tak dikenal:

- uraian fisik
- kereaktifan air
- kelarutan dalam air
- informasi pH dan mungkin juga informasi netralisasi
- daya sulut (kemudahbakaran)
- adanya oksidator
- adanya sulfida atau sianida
- adanya halogen
- adanya bahan radioaktif
- adanya bahan berbahaya hayati
- adanya komponen beracun
- adanya bifenil poliklorin (PCB)
- adanya senyawa dengan bau menyengat

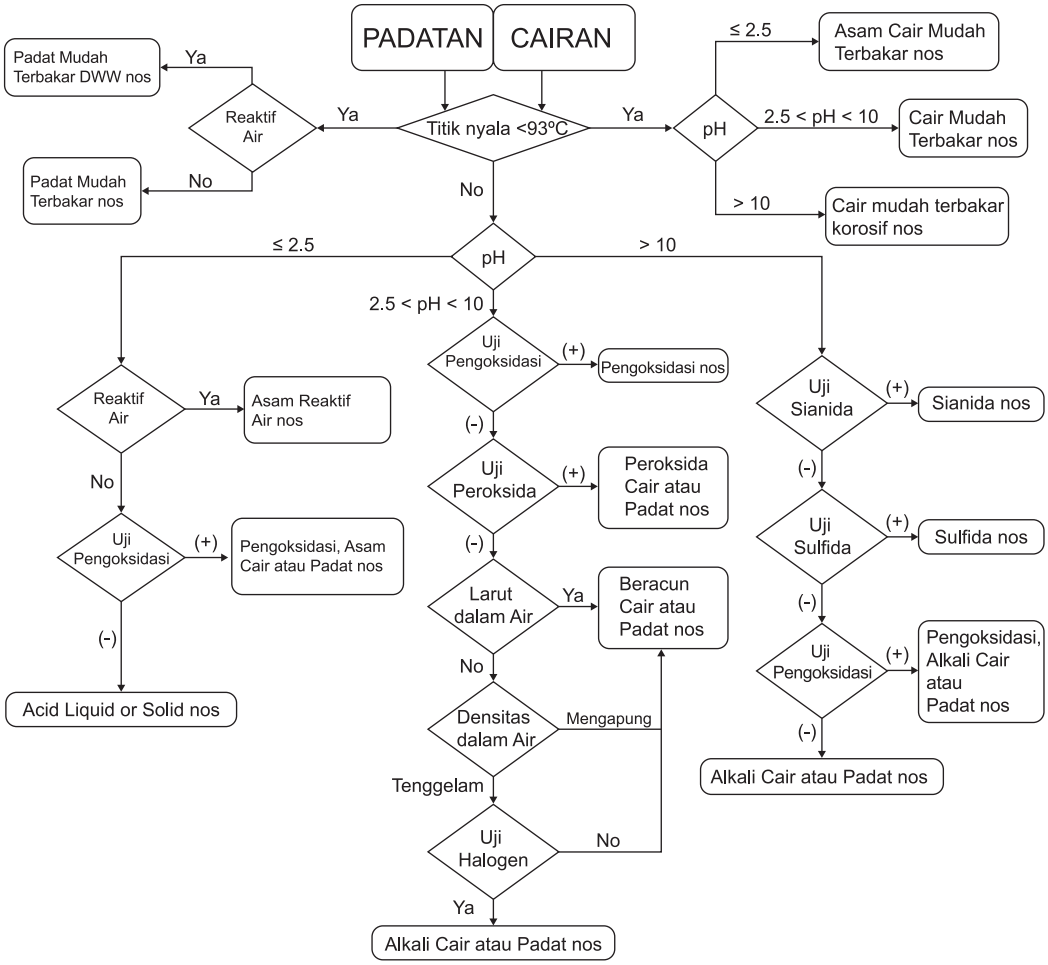
Prosedur untuk Menguji Bahan yang Tidak Dikenal

- ***Uraian fisik:*** Masukkan keadaan bahan (padat, cair), warna, dan konsistensi (untuk zat padat) atau viskositas (untuk zat cair). Untuk bahan cair, uraikan kejernihan larutan (transparan, tembus cahaya, atau buram). Jika bahan yang tidak dikenal adalah cairan dua atau tiga lapis, uraikan masing-masing lapisan secara terpisah, dengan memberikan rata-rata persentase total untuk masing-masing lapisan. Setelah melakukan tindakan pencegahan yang tepat untuk menangani bahan yang tidak dikenal, termasuk penggunaan peralatan pelindung diri, ambil sedikit sampel untuk digunakan pada uji berikut.
- ***Reaktivitas air:*** Tambahkan sedikit bahan yang tidak dikenal dengan hati-hati ke dalam beberapa mililiter air. Amati segala perubahan, termasuk evolusi panas, evolusi gas, dan pembentukan api.
- ***Daya larut dalam air:*** Amati daya larut bahan yang tidak dikenal di dalam air. Jika merupakan cairan yang tidak mudah larut, perhatikan apakah bahan tersebut kurang atau lebih padat dibandingkan air (yaitu, apakah bahan mengapung atau tenggelam?). Sebagian besar cairan organik non-halogen kurang padat dibandingkan air.
- ***pH:*** Uji bahan dengan kertas pH multi kisaran. Jika sampel larut dalam air, uji pH 10% larutan cair. Mungkin juga diinginkan atau bahkan diperlukan melakukan titrasi netralisasi.
- ***Daya sulut (kemudahbakaran):*** Letakkan sedikit sampel bahan (<5 mL) di atas baki uji aluminium. Berikan sumber penyulutan, biasanya suluh propana, untuk menguji sampel selama 0,5 detik. Jika bahan mendukung pembakarannya sendiri, maka bahan tersebut adalah cairan yang mudah terbakar dengan titik nyala kurang dari 60°C. Jika sampel tidak terbakar, berikan sumber penyulutan lagi selama 1 detik. Jika terbakar, maka bahan mudah terbakar. Bahan yang mudah terbakar mempunyai titik nyala antara 60 hingga 93°C.
- ***Adanya oksidator:*** Basahi kertas kanji iodida yang dijual bebas dengan 1 N asam hidroklorat, dan letakkan sedikit bahan yang tidak dikenal di atas kertas yang basah tersebut. Perubahan warna kertas menjadi ungu tua merupakan uji positif untuk oksidator. Uji ini juga dapat dilakukan dengan menambahkan 0,1 hingga 0,2 g natrium atau kalium iodida ke dalam 1 mL larutan asam 10% dari bahan yang tidak dikenal. Perubahan menjadi warna kuning-cokelat menunjukkan bahwa bahan adalah oksidator. Untuk menguji hidroperoksida dalam pelarut organik yang tidak larut dalam air, celupkan kertas uji kanji iodida ke dalam pelarut, dan biarkan mengering. Tambahkan setetes air ke bagian kertas yang sama. Perubahan menjadi warna gelap menunjukkan adanya hidroperoksida.

- ***Adanya peroksida***: Uji berikut mendeteksi sebagian besar (namun, tidak semua) senyawa peroksi, termasuk semua hidroperoksida:

  - Tambahkan 1 hingga 3 mL cairan yang akan diuji ke asam asetat dengan volume yang sama, tambahkan beberapa tetes larutan kalium iodida cair 5%, kemudian kocok. Adanya warna kuning hingga cokelat menunjukkan adanya peroksida. Atau, penambahan 1 mL larutan kalium iodida 10% yang disiapkan sesaat sebelum digunakan ke dalam 10 mL cairan organik dalam silinder kaca 25-mL, akan menghasilkan warna kuning jika terdapat peroksida.
  - Tambahkan 0,5 mL cairan yang akan diuji ke dalam campuran 1 mL larutan kalium iodida cair 10% dan 0,5 mL asam hidroklorat encer yang telah ditambahi beberapa tetes larutan kanji sesaat sebelum pengujian. Adanya warna biru atau biru-hitam dalam waktu satu menit menunjukkan adanya peroksida.
  - Strip uji peroksida, yang berubah menjadi warna indikatif jika terdapat peroksida, dijual bebas. Perhatikan bahwa strip ini harus dikeringkan di udara hingga pelarut menguap, kemudian paparkan ke kelembapan untuk pengoperasian yang benar.

  Tidak satu pun dari uji ini yang boleh diterapkan pada bahan (misalnya, kalium logam) yang mungkin terkontaminasi dengan peroksida anorganik.
- ***Adanya sulfida:*** Gunakan strip uji yang dijual bebas untuk mendeteksi adanya sulfida. Jika strip uji tidak tersedia di laboratorium, uji berikut dapat dilakukan. **Peringatan: Uji ini menghasilkan uap berbahaya dan berbau. Gunakan sedikit larutan untuk diuji dan gunakan ventilasi yang memadai.** Uji untuk sulfida anorganik dilakukan hanya jika pH larutan cair dari bahan yang tidak dikenal lebih dari 10. Tambahkan beberapa tetes asam hidroklorat pekat ke dalam sampel bahan yang tidak dikenal sambil memegang selembar kertas asetat yang dijual bebas, basahkan dengan air distilasi, di atas sampel. Perubahan warna coklat-hitam pada kertas menunjukkan pembentukan sulfida hidrogen.
- ***Adanya sianida:*** Hanya gunakan strip uji yang dijual bebas untuk menguji adanya sianida.
- ***Adanya halogen:*** Panaskan seutas kawat tembaga pada api hingga kawat berwarna merah. Dinginkan kawat dalam air distilasi atau demineral, dan celupkan kawat pada bahan yang tidak dikenal. Panaskan lagi kawat dalam api. Adanya halogen ditunjukkan oleh warna hijau di sekeliling kawat di dalam api.



GAMBAR J.1 Diagram alir untuk mengategorikan bahan kimia yang tidak diketahui untuk pembuangan limbah.
Pohon keputusan ini menunjukkan urutan beberapa uji yang harus dilakukan untuk menentukan kategori bahaya yang tepat dari bahan kimia yang tidak dikenal. CATATAN: DWW = dangerous when wet (berbahaya jika basah); nos = not otherwise specified (tidak masuk klasifikasi).

J.2. Prosedur untuk Penanganan Kelebihan dan Limbah Bahan Kimia Skala Laboratorium

Masalah perlindungan lingkungan, larangan tentang pembuangan limbah di tempat pembuangan, serta akses terbatas ke pembuangan saluran telah mendorong pengembangan strategi untuk mengurangi limbah berbahaya dari laboratorium. Perlakuan dan deaktivasi produk dan produk sampingan skala kecil sebagai bagian dari rencana eksperimen adalah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah tersebut di tingkat pekerja laboratorium. Tetapi, kecuali jika ada pengurangan risiko secara signifikan karena tindakan tersebut, mungkin hanya sedikit manfaat dalam melakukan prosedur yang menghasilkan limbah jenis lain dengan risiko dan tantangan pembuangan serupa. Selain itu, ada pertanyaan tentang pengertian perlakuan "hukum" dalam laboratorium.

Kendati demikian, penanganan dalam laboratorium semacam itu sering kali memiliki manfaat. Di bawah ini beberapa prosedur penggunaan umum pada skala laboratorium. Prosedur tambahan dapat ditemukan dalam buku lain yang disebutkan di akhir lampiran ini. Prosedur lebih khusus untuk penanganan laboratorium dapat ditemukan di bagian eksperimen jurnal kimia dan dalam rangkaian publikasi seperti *Sintesis Organik* (*www.orgsyn.org/*) dan *Sintesis Anorganik* (*www.inorgsynth.com/*).

Keselamatan harus menjadi pertimbangan pertama sebelum melakukan prosedur apa pun berikutnya. Hanya ilmuwan atau ahli teknologi terlatih yang memahami kimia dan bahaya yang terlibat yang boleh melakukan atau mengawasi prosedur ini secara langsung. Kenakan perlindungan pribadi yang sesuai. Selain netralisasi, prosedur ini dimaksudkan untuk diterapkan pada jumlah kecil, atau tidak lebih dari beberapa ratus gram. Karena risiko cenderung bertambah seiring meningkatnya skala, bahan kimia dalam jumlah besar hanya boleh diperlakukan dalam kelompok kecil kecuali jika ahli kimia yang kompeten telah menunjukkan bahwa prosedur tersebut dapat dinaikkan dengan aman. Orang yang menangani limbah harus memastikan bahwa prosedur tersebut menghilangkan bahaya yang diatur sebelum produk tersebut dibuang sebagai sampah tidak berbahaya. Selain itu, jika prosedur menyebutkan pembuangan produk ke pipa drainase, maka strategi ini harus mematuhi peraturan setempat. (Lihat Bab 9 dan Lampiran H untuk informasi lebih lanjut tentang pakaian pelindung.)

Asam dan Basa

Sebagian besar laboratorium membuang asam dan basa, sehingga akan paling hemat jika keduanya dikumpulkan secara terpisah kemudian dinetralkan satu sama lain. Tetapi, karena produk reaksi sering kali dibuang pada pipa drainase, penting

untuk memastikan bahwa limbah berbahaya seperti ion logam beracun tidak dibuang secara bersamaan. Jika diperlukan asam atau basa tambahan, asam sulfat atau hidroklorat dan natrium atau magnesium hidroksida, secara berturut-turut, dapat digunakan.

Jika asam atau basa sangat pekat, cara terbaik adalah melarutkannya dahulu dengan air dingin (menambahkan asam atau basa ke air) hingga konsentrasinya di bawah 10%. Kemudian campurkan asam dan basa, dan perlahan tambahkan air bila perlu untuk mendinginkan dan melarutkan produk yang dinetralkan. Konsentrasi garam netral yang dibuang di pipa drainase biasanya kurang dari 1%.

Bahan Kimia Organik

Tiol dan Sulfida

Tiol (merkaptan) dan sulfida dalam jumlah kecil dapat dimusnahkan dengan oksidasi pada asam sulfat dengan natrium hipoklorit. Jika terdapat kelompok lain yang dapat dioksidasi dengan hipoklorit, maka jumlah reagen yang digunakan harus ditingkatkan.

Prosedur oksidasi 0,1 mol tiol cair:

$RSH + 3OCl^- \rightarrow RSO_3H + 3Cl^-$

Lima ratus mililiter (0,4 mol, 25% berlebih) pemutih pakaian hipoklorit yang dijual bebas (5,25% natrium hipoklorit) dituangkan ke 5-L tabung tiga leher yang terletak di sungkup asap. Lengkapi tabung dengan pengaduk, termometer, dan corong tetes. Tambahkan tiol (0,1 mol) setetes demi setetes ke larutan hipoklorit yang awalnya sudah diaduk pada suhu ruang. Secara bertahap tambahkan tiol padat melalui leher labu atau larutkan dalam tetrahidrofuran atau pelarut lainnya yang sesuai dan tidak dapat beroksidasi. Tambahkan larutan ke hipoklorit. (Penggunaan tetrahidrofuran menciptakan cairan mudah terbakar yang dapat mengubah metode pembuangan akhir.) Bilas sisa tiol dari botol reagen dan corong tetes dengan tambahan larutan hipoklorit. Oksidasi, bersamaan dengan kenaikan suhu dan larutnya tiol, biasanya dimulai setelah sedikit tiol ditambahkan. Jika reaksi belum dimulai secara spontan setelah sekitar 10% tiol ditambahkan, hentikan penambahan dan panaskan campuran hingga sekitar 50°C untuk memulai reaksi. Lanjutkan penambahan hanya setelah jelas bahwa terjadi oksidasi. Pertahankan suhu 45 hingga 50°C dengan menyesuaikan laju penambahan dan menggunakan rendaman es untuk pendingin bila perlu. Penambahan memerlukan waktu sekitar 15 menit. Jika pH anjlok hingga di bawah 6 karena terbentuk asam sulfat, mungkin sedikit natrium hidroksida atau pemutih perlu ditambahkan karena hipoklorit hancur dalam keadaan asam. Teruskan mengaduk

selama 2 jam selagi suhu turun secara bertahap hingga suhu ruang. Campuran akan menjadi larutan jernih, mungkin mengandung produk sampingan yang berminyak. Campuran reaksi biasanya dapat dibilas dengan banyak air. Pemutih pakaian yang tidak bereaksi tidak perlu diurai.

(Karena larutan natrium hipoklorit rusak bila disimpan, sebaiknya menyediakan bahan yang relatif baru. Larutan natrium hipoklorit 5,25% memiliki 25 g klorin aktif per liter. Jika penentuan isi hipoklorit aktif dipastikan, maka reaksi berikut bisa dilakukan: Larutkan 10 mL larutan natrium hipoklorit dengan 100,0 mL. Kemudian tambahkan 10,0 mL reagen larut ini ke larutan 1 g kalium iodida dan 12,5 mL asam asetat 2 M dalam 50 mL air suling. Dengan menggunakan larutan pati sebagai indikator, titrasi larutan dengan 0,1 N natrium tiosulfat. Satu mililiter titran sama dengan 3,5 mg klorin aktif. Larutan natrium hipoklorit 5,25% memerlukan sekitar 7 mL titran.)

Kalsium hipoklorit dapat digunakan sebagai pengganti natrium hipoklorit dan memerlukan volume cairan lebih kecil. Untuk 0,1 mol tiol, aduk 42 g (25% berlebih) dari kalsium hipoklorit 65% (tingkat teknis) ke dalam 200 mL air pada suhu ruang. Hipoklorit larut dengan cepat. Kemudian tambahkan tiol seperti prosedur di atas.

Hilangkan bau pada pecah belah laboratorium, tangan, dan pakaian yang terkontaminasi dengan tiol menggunakan larutan Diaperena, garam tetraalkilamonium yang digunakan untuk menghilangkan bau wadah yang digunakan untuk mencuci popok kotor. Sedikit sulfida, RSR', dapat dioksidasi menjadi sulfona (RSO_2 R') untuk mengurangi baunya yang tidak sedap. Prosedur hipoklorit yang digunakan untuk tiol dapat digunakan untuk tujuan ini, meski sulfona yang dihasilkan sering kali tidak mudah larut dalam air dan mungkin harus dipisahkan dari campuran reaksi melalui filtrasi.

Hancurkan sedikit sulfida anorganik, natrium sulfida, atau kalium sulfida dalam larutan berair dengan natrium atau kalsium hipoklorit dengan menggunakan prosedur yang diuraikan untuk mengoksidasi tiol.

$$Na_2S + 4OCl^- \rightarrow Na_2SO_4 + 4Cl^-$$

Asil Halida dan Anhidrida

Asil halida, sulfonil halida, dan anhidrida bereaksi langsung dengan air, alkohol, dan amina. Bahan ini tidak boleh mengalami kontak dengan limbah yang mengandung zat tersebut. Sebagian besar senyawa dalam kelas ini dapat dihidrolisis menjadi produk yang dapat larut di dalam air dan memiliki toksisitas rendah.

Prosedur hidrolisis 0,5 mol RCOX, RSO_2X, atau $(RCO)_2O$:

$$RCOX + 2NaOH \rightarrow RCO_2Na + NaX + H_2O$$

Letakkan tabung tiga leher 1-L yang dilengkapi dengan pengaduk, corong tetes, dan termometer pada rendaman uap di dalam tudung. Tuangkan 600 mL natrium hidroksida cair 2,5 M (1,5 mol, 50% berlebih) ke dalam labu. Tambahkan beberapa mililiter turunan asam setetes demi setetes sambil diaduk. Jika bersifat padat, turunan dapat ditambahkan dalam jumlah kecil melalui leher tabung. Jika terjadi reaksi, yang ditandai dengan meningkatnya suhu dan pelarutan turunan asam, lanjutkan penambahan dengan laju sedemikian rupa sehingga suhu tidak naik hingga di atas 45°C. Jika reaksi sangat lambat, yang mungkin terjadi dengan senyawa yang tidak begitu mudah larut seperti *p*-toluenasulfonil klorida, panaskan campuran sebelum menambahkan lebih banyak turunan asam. Jika bahan yang pertama kali ditambahkan telah larut, tambahkan sisanya setetes demi setetes. Begitu didapat larutan bening, dinginkan campuran hingga suhu ruang, netralkan hingga sekitar pH 7 dengan asam hidroklorat atau asam sulfat encer, dan cuci di saluran dengan banyak air.

Aldehida

Banyak aldehida yang menyebabkan iritasi pada pernapasan, dan beberapa di antaranya, seperti formaldehida dan akrolein, cukup beracun. Terkadang oksidasi aldehida ke asam karboksilat terkait, yang biasanya tidak begitu beracun dan tidak mudah menguap itu berguna.

Prosedur oksidasi permanganat 0,1 mol aldehida:

$3RCHO + 2KMnO_4 \rightarrow 2RCO_2K + RCO_2H + 2MnO_2 + H_2O$

Aduk campuran 100 mL air dan 0,1 aldehida pada labu dasar-bulat 1-L yang dilengkapi dengan termometer, corong tetes, pengaduk, rendaman uap, dan kondensor, jika aldehida mendidih di bawah 100°C. Tambahkan sekitar 30 mL larutan 12,6 g (0,08 mol, 20% berlebih) dari kalium permanganat pada 250 mL air dalam waktu 10 menit. Jika suhu naik di atas 45°C, dinginkan larutan tersebut. Jika penambahan ini tidak disertai dengan kenaikan suhu dan hilangnya warna ungu pada permanganat, panaskan campuran pada rendaman uap hingga mencapai suhu yang cukup untuk menghilangkan warna. Secara perlahan tambahkan sisa larutan permanganat pada suhu 10°C. Lalu naikkan suhu ke 70 hingga 80°C, dan terus aduk selama 1 jam atau hingga warna ungu hilang, tergantung yang terjadi lebih dulu. Dinginkan campuran pada suhu ruang hingga diasamkan dengan asam sulfat 6 N. **(PERHATIAN: Jangan tambahkan asam sulfat pekat pada larutan permanganat karena oksida mangan (Mn_2O_7) yang mudah meledak bisa mengendap.)** Tambahkan natrium bisulfat padat (minimal 8,3 g, 0,08 mol) dan aduk dengan suhu 20 hingga 40°C untuk mereduksi semua mangan. Ini ditandai dengan hilangnya warna ungu dan pelarutan mangan dioksida padat. Cuci campuran di saluran dengan air bervolume besar.

Jika aldehida mengandung ikatan rangkap karbon-karbon, seperti pada aklorein yang sangat beracun, gunakan 4 mol (20% berlebih) permanganat per mol aldehida untuk mengoksidasi ikatan alkena dan kelompok aldehida. Formaldehida dioksidasi dengan baik sekali menjadi asam format dan karbon dioksida oleh natrium hipoklorit. Maka dari itu, aduk 10 mL formalin (37% formaldehida) pada 100 mL air ke dalam 250 mL pemutih pakaian hipoklorit (5,25% NaOCl) pada suhu ruang. Diamkan campuran selama 20 menit sebelum membuangnya di saluran. Prosedur ini tidak direkomendasikan untuk alifatik aldehida lainnya karena dapat menghasilkan asam kloro, yang lebih beracun dan kurang ramah lingkungan daripada asam tak berklorin yang sama.

Amina

Kalium permanganat yang diasamkan menguraikan amina aromatik secara efisien. Diasosiasi yang diikuti dengan protonasi hypophosphorous asam merupakan metode untuk deaminasi amina aromatik, tetapi prosedur ini lebih rumit daripada oksidasi.

Prosedur untuk oksidasi permanganat 0,01 mol amina aromatik:

Siapkan larutan 0,01 mol amina aromatik dalam 3 L asam sulfat 1,7 N pada labu 5-L. Tambahkan 1 L kalium permanganat 0,2 M. Diamkan larutan pada suhu ruang selama 8 jam. Kurangi permanganat berlebih dengan menambahkan natrium bisulfat padat secara perlahan hingga warna ungunya hilang. Buang campuran di saluran.

Peroksida Organik dan Hidroperoksida

Umumnya, buang sedikit (≤25 g) peroksida melalui pengenceran dengan air hingga konsentrasinya 2% atau kurang. Lalu pindahkan larutan ke botol polietilena yang berisi larutan cair dari bahan pereduksi, seperti fero sulfat atau natrium bisulfat. Di titik ini, bahan bisa ditangani sebagai limbah kimia; tetapi, tidak boleh dicampur dengan bahan kimia lain untuk dibuang. Keringkan peroksida yang tumpah pada vermikulit atau absorben lain secepat mungkin. Bakar langsung campuran vermikulit-peroksida atau aduk dengan pelarut yang sesuai untuk membentuk bubur yang bisa ditangani sesuai prosedur lembaga.

Jumlah besar (>25 g) peroksida memerlukan penanganan khusus dan harus dibuang ***hanya*** oleh ahlinya atau penjinak bom. Pertimbangkan masing-masing kasus secara terpisah. Tentukan prosedur penanganan, penyimpanan, dan pembuangan dengan menggunakan sifat fisik dan kimia dari peroksida tertentu (baca juga Hamstead, A.C. 1964. *Kimia Industri dan Teknik*, 56(6): 37–42). Buang pelarut ter-peroksida seperti tetrahidrofuran (THF), dietil eter, dan 1,4-dioksana dengan cara yang sama seperti pelarut non-auto-oksidasi. Pastikan bahwa pelarut ter-peroksida tidak dibiarkan menguap sehingga memekatkan peroksida selama penanganan dan

pengangkutan. **(PERHATIAN: Peroksida khususnya berbahaya. Hanya perbolehkan pegawai laboratorium yang ahli untuk melakukan prosedur ini.)** Peroksida dapat dihilangkan dari pelarut dengan membuangnya melalui kolom alumina teraktivasi basa, dengan menanganinya menggunakan Penyaring Molekuler yang ditentukan, atau dengan reduksi menggunakan fero sulfat. Meskipun menghilangkan hidroperoksida, yang merupakan kontaminan paling berbahaya dari pelarut yang membentuk peroksida, prosedur ini tidak menghilangkan dialkil peroksida, yang mungkin juga ada dalam konsentrasi rendah. Reagen peroksida yang umum digunakan, seperti asetil peroksida, benzoil peroksida, *t*-butil hidroperoksida, dan di-*t*-butil peroksida, kurang berbahaya daripada peroksida adventitius yang terbentuk dalam pelarut.

Penghilangan peroksida dengan alumina:

A 2 × 33 cm yang diisi dengan 80 g dari 80-mesh alumina teraktivasi basa biasanya cukup untuk menghilangkan semua peroksida dari 100 hingga 400 mL pelarut, baik yang larut dalam air maupun tidak. Setelah menyalurkan pelarut melalui kolom, uji kadar peroksidanya. Alumina biasanya menguraikan peroksida yang dibentuk oleh udara; bukan sekadar menyerapnya. Namun, demi keselamatan, langkah terbaik adalah campur alumina basah dengan larutan asam encer dari fero sulfat sebelum membuangnya.

Penghilangan peroksida dengan Penyaring Molekuler:

Reflux 100 mL pelarut dengan 5 g dari 4- hingga 8-mesh Penyaring Molekuler 4A Teraktivasi yang ditentukan selama beberapa jam di bawah nitrogen. Penyaring ini dipisahkan dari pelarut dan tidak memerlukan penanganan lebih lanjut karena peroksida dihancurkan selama interaksi dengan penyaring.

Penghilangan peroksida dengan fero sulfat:

$ROOH + 2Fe^{2+} + 2H^{+} \rightarrow ROH + 2Fe^{3+} + H_2O$

Aduk larutan 6 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 6 mL asam sulfat pekat, dan 11 mL air dengan 1 L pelarut yang tidak mudah larut dalam air hingga pelarut tidak lagi memberikan uji positif terhadap peroksida. Biasanya hanya diperlukan beberapa menit.

Diasil peroksida bisa dihancurkan dengan reagen ini serta natrium bisulfat, natrium hidroksida, atau amonia cair. Namun, diasil peroksida yang memiliki daya larut rendah di dalam air, seperti dibenzoil peroksida, bereaksi sangat lambat. Reagen yang lebih baik adalah larutan natrium iodida atau kalium iodida dalam asam asetat glasial.

Prosedur penghancuran diasil peroksida:

$(RCO_2)_2 + 2NaI \rightarrow 2RCO_2Na + I_2$

Untuk 0,01 mol diasil peroksida, larutkan 0,022 mol (10% berlebih) natrium atau kalium iodida dalam 70 mL asam asetat glasial. Sedikit demi sedikit, tambahkan peroksida sambil aduk pada suhu ruang. Larutan ini akan cepat menjadi keruh karena pembentukan iodin. Setelah minimal 30 menit, cuci larutan di saluran dengan air dalam jumlah yang besar.

Kebanyakan dialkil peroksida (ROOR) tidak siap bereaksi pada suhu ruang dengan fero sulfat, iodida, amonia, atau reagen lainnya yang disebutkan di atas. Namun, peroksida ini bisa dihancurkan dengan perubahan prosedur iodida.

Prosedur penghancuran dialkil peroksida:

Tambahkan 1 mL asam hidroklorat 36% (w/v) pada larutan asam asetat-natrium iodida di atas sebagai akselerator, lalu tambahkan 0,01 mol dialkil peroksida. Panaskan larutan pada suhu 90 hingga 100°C dalam rendaman uap selama 30 menit dan biarkan di suhu itu selama 5 jam.

Bahan Kimia Anorganik

Hidrida Logam

Sebagian besar hidrida logam bereaksi kuat dengan air disertai dengan pengembangan hidrogen, yang dapat membentuk campuran yang mudah meledak dengan udara. Beberapa lainnya, seperti litium aluminium hidrida, kalium hidrida, dan natrium hidrida, bersifat piroforik. Sebagian besar bisa terurai dengan penambahan (untuk mengurangi reaktivitasnya) metil alkohol, etil alkohol, *n*-butil alkohol, atau *t*-butil alkohol secara perlahan pada larutan dingin teraduk atau suspensi hidrida pada cairan lembam, seperti dietil eter, tetrahidrofuran, atau toluena, pada nitrogen dalam labu tiga leher. Meskipun prosedur ini mengurangi bahaya dan harus menjadi bagian dari eksperimen yang menggunakan hidrida logam reaktif, produk dari deaktivasi serupa mungkin berupa limbah berbahaya yang harus ditangani sedemikian rupa saat akan dibuang.

Hidrida yang digunakan secara umum di laboratorium adalah litium aluminium hidrida, kalium hidrida, natrium hidrida, natrium borohidrida, dan kalsium hidrida. Metode pembuangan berikut menunjukkan bahwa reaktivitas hidrida logam sangat beragam. Sebagian besar hidrida bisa diuraikan dengan aman menggunakan salah satu dari keempat metode berikut, tetapi sifat hidrida tertentu harus dipahami dengan baik untuk memilih metode yang paling sesuai. **(PERHATIAN: Sebagian besar metode yang dijelaskan berikut menghasilkan gas hidrogen, yang bisa menimbulkan bahaya ledakan. Lakukan reaksi di tudung, di belakang pelindung, dan dengan penjagaan yang semestinya untuk menghindari paparan gas efluen pada percikan api atau api. Semua alat pengaduk harus tahan percikan api.)**

Penguraian litium aluminium hidrida:

Litium aluminium hidrida ($LiAlH_4$) bisa dibeli dalam bentuk padat atau larutan dalam toluena, dietil eter, tetrahidrofuran, atau eter lainnya. Meskipun penambahan tetesan air pada larutan di bawah nitrogen dalam labu leher tiga sudah sering digunakan untuk menguraikannya, pembuihan yang kuat sering terjadi. Alternatifnya adalah menggunakan etanol 95%, yang bereaksi lebih lemah daripada air. Prosedur yang lebih aman adalah menguraikan hidrida dengan etil asetat, karena tidak membentuk hidrogen.

$$2CH_3CO_2C_2H_5 + LiAlH_4 \rightarrow LiOC_2H_5 + Al(OC_2H_5)_3$$

Perlahan tambahkan etil asetat pada larutan hidrida dalam labu yang dilengkapi dengan pengaduk. Kadang campuran ini menjadi sangat kuat setelah penambahan tersebut sehingga pengadukan menjadi sulit dan diperlukan tambahan pelarut. Jika reaksi dengan etil asetat sudah berhenti, tambahkan dan aduk larutan cair amonium klorida jenuh. Campuran akan terbagi ke dalam lapisan organik dan lapisan cair yang mengandung zat padat anorganik lembam. Pisahkan lapisan organik atas, dan buang sebagai cairan yang mudah terbakar. Umumnya, buang lapisan cair bawah pada pipa drainase.

Penguraian kalium atau natrium hidrida:

Kalium dan natrium hidrida (KH, NaH) dalam keadaan kering bersifat piroforik, tetapi bisa dibeli dalam bentuk dispersi pada minyak mineral yang relatif aman. Bentuk tersebut dapat diuraikan dengan menambahkan pelarut hidrokarbon kering secukupnya (msl., heptana) untuk mengurangi konsentrasi hidrida di bawah 5% lalu menambahkan tetesan *t*-butil alkohol berlebih pada nitrogen sambil diaduk. Kemudian tambahkan tetesan air dingin, dan pisahkan kedua lapisan yang dihasilkan. Lapisan organik bisa dibuang sebagai cairan yang mudah terbakar. Biasanya lapisan cair bisa dinetralkan dan dibuang pada pipa drainase.

Penguraian natrium borohidrida:

Natrium borohidrida ($NaBH_4$) sangat stabil di air sehingga larutan cair 12% yang distabilkan dengan natrium hidroksida dijual bebas. Untuk menghasilkan penguraian, tambahkan zat padat atau larutan berair pada air secukupnya untuk membuat konsentrasi borohidrida kurang dari 3%, lalu tambahkan ekuivalen berlebih dari tetesan asam asetat encer sambil diaduk dalam nitrogen.

Penguraian kalsium hidrida:

Kalsium hidrida (CaH_2), bahan yang paling tidak reaktif yang dibahas di sini, dibeli dalam bentuk serbuk. Bahan ini diuraikan dengan menambahkan 25 mL metil

alkohol per gram hidrida dalam nitrogen sambil diaduk. Jika reaksi sudah berhenti, sedikit demi sedikit tambahkan volume air yang sama pada bubur kalsium metoksida teraduk. Netralkan campuran dengan asam dan buang di pipa drainase.

Sianida Anorganik

Sianida anorganik bisa dioksidasi pada sianat menggunakan hipoklorit cair dengan mengikuti prosedur yang sama seperti pada oksidasi tiol. Hidrogen sianida bisa diubah menjadi natrium sianida melalui penetralan dengan natrium hidroksida cair, lalu dioksidasi.

Prosedur untuk oksidasi sianida:

$NaCN + NaOCl \rightarrow NaOCN + NaCl$

Dinginkan larutan garam sianida cair dalam labu tiga leher berpendingin es yang dilengkapi dengan pengaduk, termometer, dan corong tetes sampai mencapai suhu 4 hingga 10°C. Dengan perlahan tambahkan pemutih pakaian hipoklorit komersial 50% berlebih yang mengandung 5,25% (0,75 M) natrium hipoklorit sambil diaduk dan dipertahankan pada suhu rendah. Jika penambahan selesai dan panas tidak meningkat lagi, biarkan larutan menjadi hangat pada suhu ruang dan diamkan selama beberapa jam. Lalu cuci campuran di saluran dengan air berlebih. Prosedur yang sama bisa diterapkan pada sianida yang tidak mudah larut seperti tembaga sianida (meskipun garam tembaga tidak boleh dibuang pada pipa drainase). Dalam menghitung jumlah hipoklorit yang diperlukan, pelaku eksperimen harus ingat bahwa tambahan ekuivalen mungkin diperlukan jika ion logam bisa dioksidasi ke status valensi yang lebih tinggi, seperti dalam reaksi

$$2CuCN + 3OCl^- + H_2O \rightarrow 2Cu^{2+} + 2OCN^- + 2OH^- + 3Cl^-$$

Gunakan prosedur yang sama untuk menghancurkan hidrogen sianida, tetapi gunakan tindakan pencegahan untuk menghindari paparan pada gas yang sangat beracun ini. Larutkan hidrogen sianida pada beberapa volume air es. Tambahkan sekitar 1 molar natrium hidroksida yang setara pada suhu 4 hingga 10°C untuk mengubah hidrogen sianida ke dalam garam natriumnya. Lalu ikuti prosedur yang dijelaskan di atas untuk natrium sianida. **(PERHATIAN: Natrium hidroksida atau basa lainnya, termasuk natrium sianida, tidak boleh bersinggungan dengan hidrogen sianida cair karena bisa memicu polimerisasi kuat dari hidrogen sianida.)**

Prosedur ini juga bisa menghancurkan ferosianida dan ferisianida yang mudah larut. Alternatifnya, masing-masing bisa diendapkan sebagai garam feri atau garam fero, untuk di buang di tempat pembuangan yang memungkinkan.

(Lihat Bab 9 untuk informasi lebih lanjut tentang bekerja dengan gas berbahaya.)

Azida Logam

Azida logam berat terkenal mudah meledak. Hanya pegawai terlatih yang harus menanganinya. Perak azida (dan juga fulminat) bisa dihasilkan dari reagen Tollens, yang sering ditemukan di laboratorium tingkat sarjana. Natrium azida hanya meledak jika dipanaskan mendekati suhu penguraiannya (300°C), tetapi hindari memanaskannya. Jangan pernah membuang natrium azida di saluran. Praktik ini menyebabkan kecelakaan serius karena azida bisa bereaksi dengan timbal atau tembaga pada saluran untuk menghasilkan azida yang bisa meledak. Azida ini bisa dirusak melalui reaksi dengan asam nitrit:

$$2NaN_3 + 2HNO_2 \rightarrow 2N_2 + 2NO + 2NaOH$$

Prosedur penghancuran natrium azida:

Operasi ini harus dilakukan di tudung karena membentuk oksida nitrat yang beracun. Letakkan larutan cair yang mengandung tidak lebih dari 5% natrium azida ke dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan pengaduk dan corong tetes. Tambahkan dan aduk sekitar 7 mL larutan cair natrium nitrit 20% (40% berlebih) per gram natrium azida. Lalu sedikit demi sedikit tambahkan larutan asam sulfat cair 20% hingga campuran reaksi bersifat asam menurut kertas lakmus. **(PERHATIAN: Urutan penambahan sangat penting. Asam hidrazoat yang mudah menguap dan beracun (HN_3) akan berkembang jika asam ditambahkan sebelum nitrit.)** Jika pengembangan nitrogen oksida berhenti, uji larutan asam dengan kertas kanji iodida. Jika warnanya berganti biru, berarti nitrit berlebih, dan penguraian selesai. Cuci campuran reaksi di saluran.

Logam Alkali

Logam alkali bereaksi kuat dengan air, dengan pelarut hidroksilik umum, dan dengan hidrokarbon berhalogen. Selalu tangani logam alkali jika tidak ada bahan tersebut. Logam ini biasanya dihancurkan menggunakan reaksi terkendali dengan alkohol. Bahan alkohol cair akhir biasanya bisa dibuang pada pipa drainase.

Prosedur penghancuran logam alkali:

Limbah natrium bisa dihancurkan dengan etanol 95%. Lakukan prosedur ini pada labu dasar bulat, leher tiga yang dilengkapi dengan pengaduk, corong tetes, kondensor, dan selubung pemanas. Potong natrium padat menjadi potongan kecil dengan pisau tajam yang dibasahi hidrokarbon, terutama minyak mineral, sehingga permukaan yang tidak teroksidasi terlihat. Tangani langsung dispersi natrium pada minyak mineral. Letakkan potongan natrium pada labu dan siram dengan nitrogen. Lalu tambahkan 13 mL etanol 95% per gram natrium dengan laju yang menyebabkan

reflux cepat. **(PERHATIAN: bertekanan hidrogen berkembang dan dapat menimbulkan bahaya ledakan. Lakukan reaksi ini di tudung, di belakang pelindung, dan dengan penjagaan yang semestinya (seperti pada Bab 9, Bagian 7) untuk menghindari paparan gas efluen pada percikan api atau api. Semua alat pengaduk harus tahan percikan api.)** Mulai pengadukan segera setelah etanol secukupnya ditambahkan untuk memungkinkan reaksi ini. Aduk dan panaskan campuran dalam keadaan reflux hingga natrium terlarut. Hilangkan sumber panas, dan tambahkan air dengan volume yang sama pada laju yang cukup menyebabkan reflux sedang. Dinginkan larutan, netralkan dengan 6 M asam sulfat atau hidroklorat, lalu cuci di saluran.

Untuk menghancurkan kalium logam, gunakan prosedur dan tindakan pencegahan yang sama seperti pada natrium, kecuali gunakan *t*-butil alkohol yang kurang reaktif pada proporsi 21 mL per gram logam. **(PERHATIAN: Logam kalium bisa membentuk peroksida yang mudah meledak. Jangan gunakan pisau untuk memotong logam yang telah membentuk lapisan oksida berwarna kuning akibat terpapar udara, meskipun dibasahi dengan hidrokarbon, karena bisa memicu ledakan.)** Jika pelarutan kalium terlalu lambat, sedikit demi sedikit tambahkan beberapa persen metanol pada *t*-butil alkohol yang sedang direflux. Masukkan batang kalium berlapis oksida langsung ke dalam labu dan uraikan dengan *t*-butil alkohol. Penguraian akan memerlukan waktu lama karena rasio permukaan-terhadap-volume batang logam rendah.

Logam litium bisa ditangani dengan prosedur yang sama, dengan menggunakan 30 mL etanol 95% per gram litium. Laju pelarutan lebih lambat daripada laju pelarutan natrium.

Katalis Logam

Campur katalis logam seperti nikel Raney dan serbuk logam mulia lainnya dengan air. Lalu tambahkan asam hidroklorat encer secara perlahan hingga zat padat larut. Tergantung pada logam dan peraturan setempat, buang larutan pada pipa drainase atau dengan limbah padat berbahaya atau tidak berbahaya lainnya. Logam mulia harus dipulihkan dari proses ini.

Halida Logam Reaktif Air

Halida cair, seperti $TiCl_4$ dan $SnCl_4$, bisa ditambahkan pada air yang teraduk dengan baik di dalam labu dasar bulat dan didinginkan dengan rendaman es seperlunya untuk menjaga agar reaksi eksotermal tetap terkendali. Biasanya lebih mudah menambahkan halida padat, seperti $AlCl_3$ dan $ZrCl_4$, pada air yang diaduk dan es hancur di dalam labu atau gelas piala. Larutan asam bisa dinetralkan dan, tergantung

pada logam dan peraturan setempat, bisa dibuang pada pipa drainase atau dengan limbah padat berbahaya atau tidak berbahaya lainnya.

Halida dan Asam Halida Non-logam

Halida dan asam halida seperti PCl_3, PCl_5, $SiCl_4$, $SOCl_2$, SO_2Cl_2, dan $POCl_3$ reaktif air. Cairan ini bisa dihidrolisis dengan baik menggunakan 2,5 M natrium hidroksida dengan prosedur yang dijelaskan sebelumnya untuk asil halida dan anhidrida. Senyawa ini menyebabkan iritasi pada kulit dan saluran pernapasan serta, bahkan lebih dari kebanyakan bahan kimia, memerlukan perlindungan tudung dan kulit yang baik saat menaganinya. Selain itu, PCl_3 mungkin menghasilkan sedikit fosfina yang sangat beracun (PH_3) selama hidrolisis.

Belerang monoklorida (S_2Cl_2) merupakan contoh khusus. Senyawa ini dihidrolisis pada campuran natrium sulfida dan natrium sulfit, sehingga hidrolizat harus ditangani dengan hipoklorit, seperti yang dijelaskan sebelumnya untuk sulfida, sebelum dibuang ke saluran.

Bentuk padat dari kelas ini (msl., PCl_5) cenderung lengket dan menguap di udara lembap sehingga mudah untuk menghidrolisisnya pada labu leher tiga. Lebih baik tambahkan larutan 2,5 M natrium hidroksida 50% berlebih pada gelas piala atau labu mulut lebar yang dilengkapi dengan pengaduk dan separuhnya diisi dengan es hancur. Jika zat padat tidak larut semua setelah es meleleh dan campuran teraduk mencapai suhu ruang, selesaikan reaksi dengan memanaskannya pada rendaman uap; lalu netralkan larutan asam dan buang ke pipa drainase.

Ion Anorganik

Banyak limbah anorganik yang terdiri dari kation (atom logam atau metaloid) dan anion (yang mungkin mengandung komponen metaloid atau tidak). Sering kali memeriksa bagian kation dan anion zat secara terpisah membantu untuk menentukan apakah zat itu berbahaya atau tidak.

Jika zat mengandung "logam berat," biasanya dianggap sangat beracun. Meskipun garam dari beberapa logam berat, seperti timbal, talium, dan raksa, sangat beracun, garam logam berat lainnya, seperti emas dan tantalum, tidak beracun. Sebaliknya, senyawa berilium, "logam ringan," sangat beracun. Pada Tabel J.1, kation logam dan metaloid didaftar menurut abjad dalam dua kelompok: kation yang sifat racunnya dijelaskan dalam literatur toksikologi sangat berbahaya dan yang tidak dijelaskan tidak berbahaya. Dasar pemisahannya relatif, dan pemisahan ini tidak mengimplikasikan bahwa yang ada dalam daftar kedua "tidak beracun." Begitu juga, Tabel J.2 berisi daftar anion sesuai dengan tingkat toksisitasnya dan sifat berbahaya lainnya, seperti daya oksidasi yang kuat (msl., perklorat), kemudahbakaran (msl., amida), reaktivitas air (msl., hidrida), dan daya ledak (msl., azida).

Bahan yang berbahaya karena radioaktivitasnya yang signifikan tidak masuk lingkup volume ini, meskipun bisa ditangani secara kimia dengan cara yang sama seperti bahan non-radioaktif yang dibahas dalam lampiran ini. Penanganan dan pembuangannya diatur secara ketat di banyak negara.

Bahan Kimia yang Kation dan Anionnya Tidak Menimbulkan Bahaya Serius

Bahan kimia yang kation dan anionnya tidak menimbulkan bahaya serius terdiri atas bahan kimia yang dibentuk dari ion-ion di kolom sebelah kanan pada Tabel J.1 dan J.2. Bahan kimia yang mudah larut dalam air sampai beberapa persen saja biasanya bisa dibuang pada pipa drainase. Buang kadar laboratorium dengan cara ini, dan gunakan sedikitnya 100 bagian air per bagian bahan kimia. Periksa peraturan setempat untuk kemungkinan batasan. Juga tangani bubur encer dari bahan yang tidak mudah larut, seperti kalsium sulfat atau alumininum oksida, dengan cara ini, selama bahan tersebut dibagi dengan baik dan tidak terkontaminasi dengan tar yang mungkin menyumbat pipa. Beberapa insinerator bisa menangani bahan kimia ini. Jika waktu dan ruang memungkinkan, didihkan larutan cair atau biarkan menguap dan biarkan endapan zat padat anorganik untuk dibuang. Namun, pertimbangkan tindakan pencegahan yang sesuai, termasuk penggunaan perangkap, untuk memastikan bahwa racun atau bahan terlarang lainnya tidak dilepaskan ke udara.

Prosedur alternatifnya adalah mengendapkan ion logam dengan agen yang direkomendasikan pada Tabel J.1. Endapan ini sering kali bisa dibuang di tempat pembuangan yang aman. Prosedur yang paling banyak diterapkan adalah mengendapkan kation sebagai hidroksida dengan menyesuaikan pH pada rentang yang ditunjukkan pada Tabel J.3.

Pengendapan Kation sebagai Hidroksidanya

Karena rentang pH pengendapan sangat beragam antar ion logam, maka penting untuk mengontrolnya dengan teliti. Sesuaikan larutan cair dari ion logam pada pH yang direkomendasikan (Tabel J.3) dengan penambahan larutan 1 M asam sulfat, atau 1 M natrium hidroksida atau karbonat. pH bisa ditentukan dari rentang 1 hingga 10 dengan menggunakan kertas uji pH.

TABEL J.1 Kation dengan Toksisitas Tinggi dan Rendah serta Presipitan yang Lebih Disukai

Bahaya Racun Tinggi		**Bahaya Racun Rendah**	
Kation	**Presipitan**[a]	**Kation**	**Presipitan**[a]
Stibium	OH^-, S^{2-}	Aluminium	OH^-
Arsen	S^{2-}	Bismut	OH^-, S^{2-}
Barium	SO_4^{2-}, CO_3^{2-}	Kalsium	SO_4^{2-}, CO_3^{2-}
Berilium	OH^-	Serium	OH^-
Kadmium	OH^-, S^{2-}	Sesium	–
Kromium(III)[b]	OH^-	Tembaga[c]	OH^-, S^{2-}
Kobalt(II)[b]	OH^-, S^{2-}	Emas	OH^-, S^{2-}
Galium	OH^-	Besi[c]	OH^-, S^{2-}
Germanium	OH^-, S^{2-}	Lantanida	OH^-
Hafnium	OH^-	Litium	–
Indium	OH^-, S^{2-}	Magnesium	OH^-
Iridium[d]	OH^-, S^{2-}	Molibdenum(VI)[b,e]	–
Timbal	OH^-, S^{2-}	Niobium(V)	OH^-
Mangan(II)[b]	OH^-, S^{2-}	Paladium	OH^-, S^{2-}
Raksa	OH^-, S^{2-}	Kalium	–
Nikel	OH^-, S^{2-}	Rubidium	–
Osmium(IV)[b,f]	OH^-, S^{2-}	Skandium	OH^-
Platinum(II)[b]	OH^-, S^{2-}	Natrium	–
Renium(VII)[b]	S^{2-}	Strontium	SO_4^{2-}, CO_3^{2-}
Rodium(III)[b]	OH^-, S^{2-}	Tantalum	OH^-
Rutenium(III)[b]	OH^-, S^{2-}	Timah	OH^-, S^{2-}
Selenium	S^{2-}	Titanium	OH^-
Perak[d]	Cl^-, OH^-, S^{2-}	Itrium	OH^-
Telurium	S^{2-}	Seng[c]	OH^-, S^{2-}
Talium	OH^-, S^{2-}	Zirkonium	OH^-
Wolfram(VI)[b,e]			
Vanadium	OH^-, S^{2-}		

[a] Presipitan didaftar menurut urutan preferensi: OH^-, CO_3^{2-} = basa (natrium hidroksida atau natrium karbonat), S^{2-} = sulfida, SO_4^{2-} = sulfat, dan Cl^- = klorida.

[b] Presipitan untuk status valensi yang ditunjukkan.

[c] Tingkat toleransi maksimal yang paling rendah sudah diatur untuk ion dengan toksisitas rendah ini di beberapa negara, dan jumlah besar harus dibuang pada sistem saluran umum. Jumlah kecil yang khusus digunakan di laboratorium biasanya tidak akan mempengaruhi pasokan air, meskipun mungkin dilarang oleh dinas pengolahan limbah publik setempat.

[d] Pemulihan logam langka dan mahal ini mungkin menguntungkan secara ekonomi.

[e] Ion ini paling baik diendapkan sebagai kalsium molibdat(VI) atau kalsium tungstat(VI).

[f] **PERHATIAN: Osmium tetraoksida, OSO_4, zat yang sangat beracun dan mudah menguap, dibentuk dari hampir semua senyawa osmium dalam keadaan asam jika terkena udara. Reaksi dengan minyak jagung atau susu bubuk akan menghancurkannya.**

Pisahkan endapan melalui filtrasi, atau sebagai lumpur pekat melalui dekantasi, dan kemas untuk dibuang. Beberapa gelatin hidroksida sulit disaring. Dalam kasus serupa, memanaskan campuran mendekati suhu 100°C atau mengaduk dengan tanah diatom, sekitar satu hingga dua kali berat endapan, sering kali memudahkan filtrasi. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel J.1, presipitan selain basa mungkin lebih baik untuk beberapa ion logam, seperti asam sulfat untuk ion kalsium. Untuk beberapa ion, endapan hidroksida akan larut kembali pada pH tinggi (Tabel J.3). Untuk sejumlah ion logam, penggunaan natrium karbonat akan menghasilkan endapan karbonat logam atau campuran hidroksida dan karbonat.

Bahan Kimia yang Kationnya Menimbulkan Bahaya Toksisitas Relatif Tinggi

Secara umum, limbah bahan kimia yang mengandung kation sangat berbahaya pada Tabel J.1 dapat diendapkan sebagai hidroksidan atau oksidanya. Alternatifnya, banyak yang bisa diendapkan sebagai sulfida yang tidak mudah larut melalui penanganan dengan natrium sulfida pada larutan netral (Tabel J.4). Beberapa sulfida akan larut kembali jika ion sulfida berlebih, jadi konsentrasi ion sulfida perlu dikendalikan dengan penyesuaian pH. Dapatkan endapan hidroksida seperti dijelaskan di atas. Dapatkan endapan berupa sulfida dengan menambahkan 1 M larutan natrium pada larutan ion logam lalu sesuaikan pHnya agar netral dengan 1 M asam sulfat. **(PERHATIAN: Hindari pengasaman campuran karena bisa membentuk hidrogen sulfida.)** Pisahkan endapan melalui filtrasi atau dekantasi dan kemas untuk dibuang. Ion sulfida berlebih dapat dihancurkan dengan penambahan hipoklorit pada larutan cair bening.

TABEL J.2 Anion Bahaya Tinggi dan Rendah serta Presipitan yang Lebih Disukai

	Anion Bahaya Tinggi		**Anion Bahaya Rendah**
Ion	**Jenis Bahaya**[e]	**Presipitan**	
Aluminium hidrida, AlH_4^-	F,W	–	Bisulfat, HSO^{3-}
Amida, NH_2^-	F,E[b]	–	Borat, BO_3^{3-}, $B_4O_7^{-2}$
Arsenat, AsO_3^-, AsO_4^{3-}	T	Cu^{3+}, Fe^{2+}	Bromida, Br^-
Arsenit, AsO_2^-, AsO_3^{3-}	T	Pb^{2+}	Karbonat, CO_3^{2-}
Azida, N_3^-	E, T	–	Klorida, Cl^-
Borohidrida, BH_4^-	F	–	Sianat, OCN^-
Bromat, BrO_3^-	O, F, E	–	Hidroksida, OH^-
Klorat, ClO_3^-	O, E	–	Iodida, I^-
Kromat, CrO_4^{2-}, $Cr_2O_7^{2-}$	T, O	[c]	Oksida, O^{2-}
Sianida, CN^-	T	–	Fosfat, PO_4^{3-}
Ferisianida, $\{Fe(CN)_6\}^{-3}$	T	Fe^{2+}	Sulfat, SO_4^{2-}
Ferosianida, $\{Fe(CN)_6\}^{-4}$	T	Fe^{3+}	Sulfit, SO_3^{2-}
Fluorida, F^-	T	Ca^{2+}	Tiosianat, SCN^-
Hidrida, H^-	F, W	–	
Hidroperoksida, O_2H^-	O, E	–	
Hidrosulfida, SH^-	T	–	
Hipoklorit, OCH^-	O	–	
Iodat, IO_3^-	O, E	–	
Nitrat, NO_3^-	O	–	
Nitrit, NO_2^-	T, O	–	
Perklorat, ClO_4^-	O, E	–	
Permanganat, MnO_4^-	T, O	–	
Peroksida, O_2^{2-}	O, E	[d]	
Persulfat, $S_2O_8^{2-}$	O	–	
Selenat, SeO_4^{2-}	T	Pb^{2+}	
Selenida, Se^{2-}	T	Cu^{2+}	
Sulfida, S^{2-}	T	[e]	

[a] T = toxic (racun); O = oxidant (oksidan); F = flammable (mudah terbakar); E = explosive (mudah meledak); W = water reactive (reaktif air).

[b] Amida logam mudah membentuk peroksida yang mudah meledak jika terpapar ke udara.

[c] Reduksi dan endapkan sebagai Cr(III).

[d] Reduksi dan endapkan sebagai Mn(II); lihat Tabel J.1.

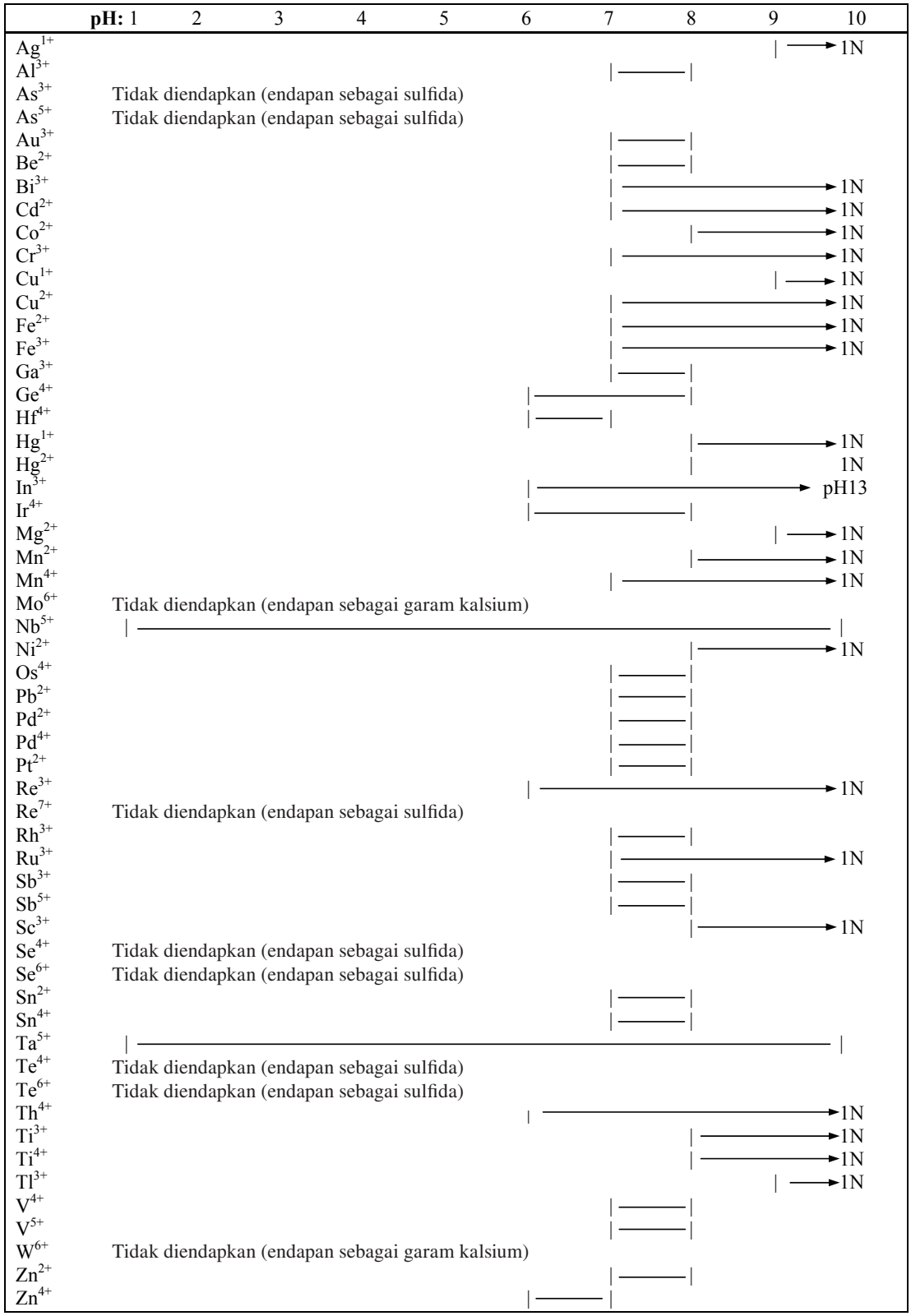
[e] Lihat Tabel J.4.

Ion-ion berikut paling umum ditemukan sebagai oksianion dan tidak diendapkan oleh basa: As^{3+}, As^{5+}, Re^{7+}, Se^{4+}, Se^{6+}, Te^{4+}, dan Te^{6+}. Endapkan unsur-unsur ini dari oksianionnya sebagai sulfida menggunakan prosedur di atas. Endapkan oksianion Mo^{6+} dan W^{6+} sebagai garam kalsium dengan menambahkan kalsium klorida. Serap sebagian ion dengan mengalirkan larutan ke resin penukaran ion. Timbun resin, dan tuangkan larutan efluen ke saluran.

Kelas senyawa lain yang kationnya mungkin tidak diendapkan dengan penambahan ion-ion hidroksida meliputi kompleks kation logam yang paling stabil dengan basa Lewis, seperti amonia, amina, dan fosfina tersier. Akibat banyaknya jumlah

senyawa ini dan kisaran sifat mereka yang luas, maka tidak mungkin memberikan prosedur umum untuk memisahkan kation. Dalam banyak kasus, sulfida logam dapat diendapkan langsung dari larutan cair kompleks dengan penambahan natrium sulfida cair. Jika eksperimen uji tabung menunjukkan bahwa tindakan lain diperlukan, maka penambahan asam hidroklorat untuk menghasilkan larutan asam encer sering kali akan menguraikan kompleks melalui protonasi ligan basa. Ion-ion logam yang membentuk sulfida tidak mudah larut dalam kondisi asam kemudian dapat diendapkan dengan penambahan tetesan natrium sulfida cair.

TABEL J.3 Kisaran pH untuk Pengendapan Hidroksida dan Oksida Logam



Opsi ketiga untuk limbah ini adalah insinerasi, dengan ketentuan bahwa abu insinerator akan dikirim ke tempat pembuangan yang aman. Insinerasi abu mengurangi volume limbah yang akan dibuang. Limbah yang mengandung raksa, talium, galium, osmium, selenium, atau arsen tidak boleh dibakar karena bisa menghasilkan produk pembakaran yang mudah menguap dan beracun.

TABEL J.4 Pengendapan Sulfida

Diendapkan pada pH 7	Tidak Diendapkan pada pH Rendah	Kompleks Larut pada pH Tinggi
Ag^{+}	–	–
As^{3+a}	–	–
Au^{+a}	–	X
Bi^{3+}	–	X
Cd^{2+}	–	–
Co^{2+}	X	–
Cr^{3+a}	–	–
Cu^{2+}	–	–
Fe^{2+a}	X	–
Ge^{2+}	–	X
Hg^{2+}	–	X
In^{3+}	X	–
Ir^{4+}	–	X
Mn^{2+a}	X	–
Mo^{3+}	–	X
Ni^{2+}	X	–
Os^{4+}	–	–
Pb^{2+}	–	–
Pd^{2+a}	–	–
Pt^{2+a}	–	X
Re^{4+}	–	–
Rh^{2+}	–	–
Ru^{4+}	–	–
Sb^{3+a}	–	X
Se^{2+}	–	X
Sn^{2+}	–	X
Te^{4+}	–	X
Tl^{+a}	X	–
V^{4+}	–	–
Zn^{2+}	X	–

CATATAN: Pengendapan ion dalam daftar tanpa tanda X biasanya tidak bergantung pada pH.

[a] Status oksidasi ion ini yang lebih tinggi direduksi oleh ion sulfida dan diendapkan sebagai sulfida ini.

SUMBER: Swift, E. H., and Schaefer, W. P. 1961. *Journal of Chemical Education*, 38:607.

Bahan Kimia yang Anionnya Menimbulkan Bahaya Relatif Tinggi

Anion berbahaya yang lebih umum didaftar dalam Tabel J.2. Banyak dari pernyataan tentang pembuangan kation berbahaya di atas juga berlaku pada anion-anion ini. Bahaya yang terkait dengan beberapa anion ini adalah reaktivitasnya atau potensinya untuk meledak, yang menjadikannya tidak bisa dibuang di tempat pembuangan. Sebagian besar bahan kimia yang mengandung anion ini dapat dibakar, tapi masukkan bahan pengoksidasi dan hirdrida kuat ke dalam insinerator hanya pada wadah yang berisi tidak lebih dari beberapa ratus gram. Pindahkan abu insinerator dari anion kromium atau mangan ke tempat pembuangan yang aman.

Endapkan sebagian anion ini sebagai garam yang tidak mudah larut untuk di buang, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel J.2. Ubah sedikit bahan pengoksidasi

kuat, hidrida, sianida, azida, amida logam, dan sulfida atau fluorida yang mudah larut menjadi zat yang kurang berbahaya di laboratorium sebelum membuangnya. Prosedur yang disarankan diuraikan dalam paragraf berikut.

Prosedur untuk Reduksi Garam Pengoksidasi

Reduksi hipoklorit, klorat, bromat, iodat, periodat, peroksida dan hidroperoksida anorganik, persulfat, kromat, molibdat, dan permanganat dengan natrium bisulfat. Larutan encer atau suspensi garam yang mengandung salah satu anion ini mengalami penurunan pH hingga kurang dari 3 jika dicampur dengan asam sulfat. Sedikit demi sedikit, tambahkan natrium bisulfat cair 50% berlebih sambil diaduk pada suhu ruang. Peningkatan suhu menunjukkan bahwa reaksi sedang berlangsung. Jika reaksi tidak dimulai setelah penambahan sekitar 10% natrium bisulfat, maka pengurangan pH lebih lanjut mungkin akan memulai reaksi ini. Anion berwarna (msl., permanganat, kromat) berfungsi sebagai indikator selesainya reduksi. Cuci campuran yang direduksi dalam saluran. Namun, jika jumlah permanganat yang direduksi besar, mungkin diperlukan pemindahan mangan dioksida ke tempat pembuangan yang aman, mungkin setelah pengurangan volume melalui pemekatan atau endapan. Jangan membuang garam kromium dalam pipa drainase.

Reduksi hidrogen peroksida dengan prosedur natrium bisulfat atau dengan fero sulfat sebagaimana diterangkan sebelumnya untuk hidroperoksida organik. Namun, biasanya diperbolehkan mengencerkan hidrogen peroksida ke konsentrasi kurang dari 3% dan membuangnya di pipa drainase. Tangani dengan sangat hati-hati semua larutan dengan konsentrasi hidrogen peroksida lebih dari 30%, untuk menghindari kontak dengan bahan pereduksi, termasuk semua bahan organik, atau dengan senyawa logam transisi, yang dapat mengkatalisasi reaksi kuat.

Jauhkan asam perklorat pekat (utamanya jika lebih pekat daripada 60%) dari bahan pereduksi, termasuk bahan pereduksi yang lemah seperti amonia, kayu, kertas, plastik, dan semua zat organik lainnya, karena asam ini dapat bereaksi kuat dengan bahan-bahan tersebut. Asam perklorat encer tidak direduksi oleh bahan pereduksi laboratorium umum, seperti natrium bisulfat, hidrogen sulfida, asam hidriodat, besi atau seng. Asam perklorat paling mudah dibuang dengan cara mengaduknya secara perlahan-lahan di dalam air dingin secukupnya agar konsentrasinya kurang dari 5%, menetralkannya dengan natrium hidroksida cair, dan membilas larutan dengan air yang banyak.

Nitrat paling berbahaya dalam bentuk asam nitrat pekat (70% atau lebih), yang merupakan bahan pengoksidasi kuat untuk bahan organik dan semua bahan pereduksi lainnya. Nitrat juga dapat menyebabkan luka bakar kulit yang parah. Asam nitrat cair encer bukan bahan pengoksidasi berbahaya dan tidak mudah direduksi oleh bahan pereduksi laboratorium yang umum. Netralkan asam nitrat cair dengan natrium

hidroksida cair sebelum dibuang ke saluran. Dengan hati-hati, encerkan asam nitrat pekat dengan menambahkannya ke dalam sekitar 10 volume air sebelum netralisasi. Nitrat logam biasanya mudah larut dalam air. Logam yang ada dalam Tabel J.1 karena memiliki bahaya racun rendah, seperti halnya amonium nitrat, harus disimpan terpisah dari minyak atau bahan organik lainnya, karena pada kondisi panas, gabungan bahan-bahan tersebut dapat menimbulkan kebakaran atau ledakan. Jika tidak, maka gabungan ini dapat ditangani sebagai bahan kimia yang tidak menimbulkan bahaya besar.

Hancurkan nitrit dalam larutan cair dengan menambahkan amonia cair 50% berlebih dan mengasamkannya dengan asam hidroklorat hingga mencapai pH 1:

$$HNO_2 + NH_3 \rightarrow N_2 + 2H_2O$$

Informasi Lebih Lanjut

Armour, M.A. 2003. *Panduan Pembuangan Bahan Kimia Laboratorium Berbahaya, Edisi Ketiga*. Boca Raton, Fla.: CRC Press.

Lunn, G., and E. B. Sansone. 1990. *Penghancuran Bahan Kimia Berbahaya di Laboratorium*. New York: John Wiley & Sons.

National Research Council, 1983. *Praktik Bijak untuk Pembuangan Bahan Kimia dari Laboratorium*, National Academy Press, Washington D.C.

Pitt, M. J., and E. Pitt. 1985. *Buku Pegangan Pembuangan Limbah Laboratorium: Manual Praktis*. New York: Halsted.

Selain itu, Agen Penelitian Kanker Internasional (International Agency for Research on Cancer, IARC) telah menerbitkan sejumlah monografi tentang penghancuran limbah berbahaya. Monografi tersebut dapat dirujuk sebagai panduan selain yang disajikan di sini. Kunjungi situs web IARC untuk informasi lebih lanjut: *http://monographs.iarc.fr/.*