

KESELAMATAN KERJA LABORATORIUM

PENDAHULUAN

Laboratorium kimia merupakan kelengkapan sebuah program studi yang digunakan untuk meningkatkan ketrampilan penggunaan dan pemakaian bahan kimia maupun peralatan analisis (instrumentasi). Dalam penggunaan lanjut, laboratorium merupakan sarana untuk melaksanakan kegiatan penelitian ilmiah. Laboratorium kimia dengan segala kelengkapan peralatan dan bahan kimia merupakan tempat berpotensi menimbulkan bahaya kepada para penggunanya jika para pekerja di dalamnya tidak dibekali dengan pengetahuan mengenai kesehatan dan keselamatan kerja.

Keselamatan dan kesehatan kerja secara filosofi adalah suatu pemikiran dan upaya untuk menjamin keutuhan dan kesempurnaan baik jasmani maupun rohani. Dengan keselamatan dan kesehatan kerja maka para pengguna diharapkan dapat melakukan pekerjaan dengan aman dan nyaman. Pekerjaan dikatakan aman jika apapun yang dilakukan oleh pekerja tersebut, resiko yang mungkin muncul dapat dihindari. Pekerjaan dikatakan nyaman jika para pekerja yang bersangkutan dapat melakukan dengan merasa nyaman dan betah, sehingga tidak mudah capek.

Keselamatan dan kesehatan kerja merupakan salah satu aspek perlindungan tenaga kerja dengan cara penerapan teknologi pengendalian segala aspek yang berpotensi membahayakan para pekerja. Pengendalian juga ditujukan kepada sumber yang berpotensi menimbulkan penyakit akibat dari jenis pekerjaan tersebut, pencegahan kecelakaan dan penserasian peralatan kerja/ mesin/ instrumen, dan karakteristik manusia yang menjalankan pekerjaan tersebut maupun orang-orang yang berada di

sekelilingnya. Dengan menerapkan teknologi pengendalian keselamatan dan kesehatan kerja, diharapkan tenaga kerja akan mencapai ketahanan fisik, daya kerja, dan tingkat kesehatan yang tinggi. Disamping itu keselamatan dan kesehatan kerja dapat diharapkan untuk menciptakan kenyamanan kerja dan keselamatan kerja yang tinggi.

Perkembangan ilmu pengetahuan melalui berbagai penelitian dan percobaan di laboratorium sudah sedemikian pesat. Perkembangan ilmu pengetahuan yang pesat ini sangat bermanfaat bagi kehidupan umat manusia. Akan tetapi perkembangan yang sedemikian pesat juga dikhawatirkan akan berpotensi meningkatkan bahaya dalam industri. Kalau prinsip keseimbangan dan keserasian dipegang teguh oleh para ilmuwan dan para pengusaha, niscaya kekhawatiran tersebut dapat diminimalkan. Peningkatan kemampuan dalam membuat alat dengan teknologi baru haruslah diimbangi dengan penciptaan alat pengendali yang lebih canggih dan kemampuan tenaga yang makin bertambah. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menghadapi bahaya yang mungkin timbul akibat dari perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi antara lain menyangkut ukuran alat, alat pengendali, kemampuan dan ketrampilan pekerja, alat penanggulangan musibah, dan pengawasan yang dilakukan.

Dari segi ekonomi pemakaian alat yang berkapasitas besar adalah lebih menguntungkan, akan tetapi bahaya yang mungkin ditimbulkan juga akan besar. Dengan demikian penentuan ukuran reaktor harus didasarkan pada keuntungan dari segi ekonomi dan bahaya yang mungkin ditimbulkan. Salah satu langkah pengamanan yang dilakukan dalam rancang bangun adalah penggunaan *safety factor* atau *over design factor* pada perhitungan perancangan masing-masing alat dengan kisaran 10 – 20 %. Alat pengendali harus lebih canggih dan lebih dapat diandalkan. Alat

pengamanan yang terkait dengan alat produksi dan alat perlindungan bagi pekerja harus ditingkatkan. Biaya untuk membangun keselamatan dan kesehatan kerja, biaya untuk membeli alat-alat pengamanan memang cukup besar. Akan tetapi keselamatan dan kesehatan kerja juga akan lebih terjamin. Kemampuan dan ketrampilan pekerja harus ditingkatkan melalui pendidikan dan pelatihan sehingga dapat mengikuti laju perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Alat penanggulangan musibah harus ditingkatkan agar malapetaka yang diakibatkan oleh penerapan teknologi maju tidak sampai meluas dan merusak. Pengawasan terhadap alat maupun terhadap pekerja harus dilakukan secara teratur dan berkesinambungan.

PENTINGNYA INVESTIGASI KECELAKAAN KERJA

Keselamatan dan pencegahan kecelakaan kerja harus mendapat perhatian yang sangat besar dari pihak manapun yang melaksanakan pekerjaan, baik di laboratorium maupun di industri-industri, ataupun tempat kerja yang lain. Beberapa alasan yang dapat dikemukakan adalah, salah satu diantaranya, karena angka kecelakaan kerja ternyata cukup mengejutkan. Sebagai contoh di Amerika dalam satu tahun terakhir ada lebih dari 6200 orang meninggal atau di atas 6,5 juta terluka akibat kecelakaan kerja. Ini berarti lebih dari 8 kasus per 100 pekerja mengalami kecelakaan pada saat bekerja. Bahkan beberapa ahli keselamatan kerja yakin bahwa angka sesungguhnya justru lebih besar dari angka yang dilaporkan. Oleh karena itu banyak kecelakaan kerja yang terjadi dan tidak dilaporkan.

Angka-angka di atas menunjukkan betapa penderitaan karyawan, keluarga karyawan, serta biaya yang harus dikeluarkan oleh pihak manajemen atau pengelola

tempat kerja tersebut. Di negara Amerika misalnya untuk satu kasus kecelakaan serius biasanya memerlukan biaya lebih dari \$ 23.000,-. Hal itu belum lagi memperhitungkan implikasi hukum yang diakibatkan oleh adanya kecelakaan kerja.

Kata “*accident*” dalam bahasa Indonesia berarti kebetulan atau kecelakaan. Pemberian arti ini sebenarnya tidaklah tepat karena tidak ada sesuatu di tempat kerja yang terjadi secara kebetulan atau *accident*. Pada jaman Romawi kuno barang kali hal ini benar karena pada waktu itu hukum yang mengatur tentang sebab akibat memang belum dikenal oleh masyarakat dan pemerintahannya. Sehingga dipercayai bahwa kejadian-kejadian fisik (termasuk kecelakaan kerja) dikendalikan oleh para dewa. Tetapi memasuki milenium ketiga, pemahaman manusia tentang kejadian-kejadian fisik berkembang terlampau cepat. Akibatnya keyakinan masyarakat bahwa suatu “*accident*” tidaklah terjadi secara kebetulan begitu saja. Masyarakat sudah mulai sadar bahwa kecelakaan dan kebetulan tersebut dikarenakan oleh adanya faktor-faktor yang menjadi penyebab. Faktor-faktor penyebab tersebutlah yang mendorong terjadinya suatu kecelakaan. Atau dengan kata lain suatu kecelakaan terjadi karena ada alasan-alasan yang jelas dan dapat diperkirakan sebelumnya (*predictable*). Sebagian besar kecelakaan muncul akibat dari faktor-faktor yang dapat diidentifikasi. Itulah sebabnya investigasi dan identifikasi alasan-alasan terjadinya kecelakaan menjadi signifikan dalam rangka menghindari kecelakaan serupa di kemudian hari.

LAPORAN KECELAKAAN KERJA

Perusahaan yang mempekerjakan 11 orang atau lebih karyawan harus membuat laporan tentang cedera dan sakit yang diakibatkan oleh kerja. Baik cedera atau

sakit yang diakibatkan oleh kecelakaan kerja, ini harus dilaporkan. Sakit yang dimaksud disini adalah setiap kondisi abnormal atau kesalahan fungsi tubuh (*disorder*) yang diakibatkan oleh kecelakaan karyawan pada saat bekerja atau di lingkungan kerja. Termasuk dalam kategori ini adalah sakit akut atau kronis yang mungkin diakibatkan karena menghirup, menyerap, mencerna, atau kontak langsung dengan senyawa-senyawa beracun dan berbahaya.

Perusahaan atau pengelola tempat kerja berkewajiban untuk selalu menanamkan kepada karyawannya agar mereka menyukai bekerja secara aman. Meminimalkan bahaya atau resiko adalah hal yang sangat penting untuk diperhatikan. Akan tetapi seaman apapun tempat kerja, jika karyawan tidak membudayakan keinginan untuk bekerja dan bertindak secara aman, maka kecelakaan akan terus terjadi. Pengamatan dari para manajer tingkat atas seketat apapun tidak akan berjalan jika keinginan karyawan untuk bekerja dengan aman tidak ada. Peraturan keselamatan dan kesehatan kerja hanyalah merupakan pelengkap demi terwujudnya kerja yang aman dan nyaman.

Para ahli keselamatan kerja telah sepakat bahwa keselamatan kerja dimulai dari komitmen manajer tingkat atas. Mengapa tingkat kecelakaan kerja di Du Pont's jauh lebih rendah dibanding perusahaan kimia lainnya adalah barangkali dapat dijadikan contoh tentang pentingnya komitmen para majemen tingkat atas. Setiap pagi di perusahaan Du Pont's poliester dan nilon, para direktur dan para karyawannya melakukan pertemuan yang isinya mengkaji apa-apa yang terjadi selama 24 jam terakhir. Yang mereka diskusikan pertama kali adalah bukan soal kapasitas produksi melainkan tentang kesehatan dan keselamatan kerja. Barulah setelah mereka

mencermati laporan tentang kecelakaan kerja dan puas terhadap tindakan-tindakan koreksi yang telah dilakukan, mereka akan membicarakan tentang produksi, kualitas produk, dan biaya. Sebagai kesimpulan, tanpa adanya komitmen penuh dari semua tingkatan manajemen, maka setiap usaha ke arah pengurangan tindakan-tindakan yang tidak aman yang dilakukan karyawan akan kurang membuahkan hasil. Supervisor atau penyelia lini pertama merupakan bagian krusial dari mata rantai manajemen. Jika para supervisor tidak menganggap keselamatan kerja sebagai hal yang serius, maka orang-orang yang ada di bawahnya juga akan berbuat hal yang sama.

PERATURAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

Setiap negara biasanya mempunyai peraturan tentang keselamatan dan kesehatan kerja sendiri-sendiri yang intinya untuk memastikan bahwa setiap karyawan baik laki-laki maupun perempuan yang bekerja di suatu perusahaan berada dalam kondisi aman dan terlindungi. Satu-satunya perusahaan yang tidak terkena peraturan ini adalah perusahaan yang mempekerjakan dirinya sendiri atau keluarga dekatnya. Pada prinsipnya peraturan keselamatan dan kesehatan kerja didasarkan pada standar umum yang menyatakan , *“bahwa setiap perusahaan harus menyediakan bagi masing-masing karyawannya pekerjaan dan tempat bekerja yang bebas dari hal-hal yang diketahui dapat menyebabkan atau diduga dapat menyebabkan kematian atau cacat fisik yang serius bagi pekerjanya”*.

Keselamatan kerja dan Hiperkes merupakan lapangan ilmu dan sekaligus praktik dengan pendekatan multidisipliner yang berupaya untuk menerapkan dan

mengembangkan teknologi pengendalian dengan tujuan tenaga kerja sehat, selamat, dan produktif, serta dicapainya tingkat keselamatan yang tinggi untuk mencegah kecelakaan.

Beberapa ketentuan perundang-undangan yang berkaitan dengan hiperkes dan keselamatan kerja antara lain:

1. Undang-undang No. 14 Tahun 1969 tentang Ketentuan Pokok Mengenai Tenaga Kerja. “Tiap tenaga kerja berhak mendapat perlindungan atas keselamatan, kesehatan, kesusilaan, dan pemeliharaan moral kerja serta perlakuan yang sesuai dengan martabat manusia dan moral agama”.
2. Undang-undang nomor 1 tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja. Undang-undang ini mengatur tentang keselamatan kerja di segala tempat kerja, baik di darat, di dalam tanah, di permukaan air, di dalam air, maupun di udara yang berada di wilayah kekuasaan hukum Republik Indonesia. Di dalam peraturan ini tercakup tentang ketentuan dan syarat-syarat keselamatan kerja dalam perencanaan, pembuatan, pengangkutan, peredaran, perdagangan, pemakaian, penggunaan, pemeliharaan, dan penyimpanan bahan, produk teknis, dan alat produksi yang mengandung dan dapat menimbulkan bahaya kecelakaan. Tujuan umum dari dikeluarkannya undang-undang ini adalah agar setiap tenaga kerja dan orang lain yang berada di tempat kerja mendapat perlindungan atas keselamatannya, dan setiap sumber-sumber produksi dapat dipakai dan digunakan secara aman dan efisien sehingga akan meningkatkan produksi dan produktifitas kerja.

3. Peraturan Menteri Tenaga Kerja nomor Per-01/MEN/1979 tentang Pelayanan Kesehatan Kerja. Tujuan pelayanan kesehatan kerja adalah:
 - a. Memberikan bantuan kepada tenaga kerja dalam penyesuaian diri dengan pekerjaannya.
 - b. Melindungi tenaga kerja terhadap setiap gangguan kesehatan yang timbul dari pekerjaan atau lingkungan kerja.
 - c. Meningkatkan kesehatan badan, kondisi mental, dan kemampuan fisik tenaga kerja.
 - d. Memberikan pengobatan dan perawatan serta rehabilitasi bagi tenaga kerja yang menderita sakit.
4. Peraturan Menteri Tenaga Kerja nomor Per-02/MEN/1979 tentang Pemeriksaan Kesehatan Tenaga Kerja. Pemeriksaan kesehatan tenaga kerja meliputi:
 - a. Pemeriksaan kesehatan sebelum kerja.
 - b. Pemeriksaan kesehatan berkala
 - c. Pemeriksaan kesehatan khusus.
5. Peraturan Menteri Tenaga Kerja nomor Per-01/MEN/1976 tentang kewajiban latihan Hiper
- 6.
7. kes bagi dokter perusahaan.
8. Undang-undang nomor 7 tahun 1981 tentang Wajib Laport Ketenagaan dan Peraturan Menteri Tenaga Kerja nomor 03/MEN/1984 tentang mekanisme pengawawan ketenagakerjaan.

MANAJEMEN KESELAMATAN KERJA

Proses produksi dengan mengoperasikan berbagai peralatan pada umumnya tidak sama sekali terbebas dari resiko bahaya. Hal ini harus menjadikan perhatian dari pihak manajemen dan unit-unit teknis dan secara khusus bertanggungjawab terhadap keselamatan kerja. Dengan demikian keselamatan kerja akan merupakan bagian yang selalu dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan dan penetapan kebijakan sehingga upaya pencegahan kecelakaan dan penyakit akibat kerja telah dimulai sejak perencanaan. Pada setiap perusahaan diharuskan berdiri Panitia Pembinaan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (P2K3), berdasarkan pada undang-undang nomor 1 tahun 1970. Dengan pendekatan demikian, maka diharapkan manajemen perusahaan mengambil sikap nyata yang mencakup:

- a. mengidentifikasi setiap proses dan peralatan pengendalian kerugian sebagai sumber resiko bahaya,
- b. mengestimasi rencana program pengendalian kecelakaan dan penyakit akibat kerja,
- c. menyusun rencana program pengendalian kecelakaan dan penyakit akibat kerja,
- d. menyusun sistem komunikasi yang diperlukan, dan
- e. menyiapkan sarana dan peralatan beserta personil yang terlatih dan profesional.

Manajemen keselamatan kerja harus mampu mencari dan mengungkapkan kelemahan operasional yang memungkinkan terjadinya penyakit akibat kerja dan

kecelakaan. Kebijaksanaan manajerial yang dijabarkan dalam pelaksanaan operasional dengan tingkat segi manajemen yang sangat esensial bagi kelangsungan proses produksi dan keselamatan kerja yang mengarahkan pada partisipasi semua pihak dalam sistem manajemen dan organisasi, akan dapat menciptakan suasana kerja yang nyaman sebagai landasa kuat untuk kontinuitas usaha dan pengaman investasi dalam pembangunan.

Hiperkes dan keselamatan kerja haruslah dipandang sebagai upaya teknis manajerial yang sangat besar fungsi dan peranannya dalam:

1. Mengamankan investasi.
2. Memelihara kelestarian dan kontinuitas usaha.
3. Mengembangkan potensi ekonomi.
4. Meningkatkan manfaat perangkat produksi.
5. Memelihara dan meningkatkan daya produktivitas kerja dari tenaga kerja.

Mutu sumberdaya manusia ditingkatkan melalui tiga jalur dalam peningkatan mutu pengetahuan dan ketrampilan, yaitu:

1. jalur pendidikan formal,
2. jalur latihan kerja, dan
3. jalur pengalaman kerja.

Peningkatan kualitas sumber daya manusia tersebut sangat penting bukan saja untuk meningkatkan kemampuan kerja secara teknis operasional, akan tetapi juga kemampuan kerja secara aman serta kemampuan menciptakan kondisi dan lingkungan kerja yang aman dan sehat.

HAL-HAL YANG DAPAT MENYEBABKAN KECELAKAAN

Ada tiga dasar penyebab terjadinya kecelakaan kerja, yaitu:

1. Terjadi secara kebetulan.

Dianggap sebagai kecelakaan dalam arti asli (*genuine accident*) sifatnya tidak dapat diramalkan dan berada di luar kendali manajemen perusahaan. Misalnya, seorang karyawan tepat berada di depan jendela kaca ketika tiba-tiba seseorang melempar jendela kaca sehingga mengenai.

2. Kondisi kerja yang tidak aman.

Kondisi kerja yang tidak aman merupakan salah satu penyebab utama terjadinya kecelakaan. Kondisi ini meliputi faktor-faktor sebagai berikut:

- a. Peralatan yang tidak terlindungi secara benar.
- b. Peralatan yang rusak.
- c. Prosedur yang berbahaya dalam, pada, atau di sekitar mesin atau peralatan gudang yang tidak aman (*sumpek* dan terlalu penuh).
- d. Cahaya tidak memadai, suram, dan kurang penerangan.
- e. Ventilasi yang tidak sempurna, pergantian udara tidak cukup, atau sumber udara tidak murni.

Pemulihan terhadap faktor-faktor ini adalah dengan meminimalkan kondisi yang tidak aman, misalnya dengan cara membuat daftar kondisi fisik dan mekanik yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan. Pembuatan checklist ini akan membantu dalam menemukan masalah yang menjadi penyebab kecelakaan. Meskipun kecelakaan dapat terjadi di mana saja dan kapan saja, akan tetapi ada tempat-tempat tertentu yang

mempunyai tingkat kecelakaan kerja tinggi. Kira-kira sepertiga dari kecelakaan industri maupun laboratorium terjadi di sekitar truk forklift, kereta dorong, dan tempat-tempat angkat junjung barang.

Tiga Faktor Lain yang Berhubungan dengan Kecelakaan Kerja.

Di samping kondisi kerja yang tidak aman masih ada tiga faktor lain yang mempengaruhi atau menyebabkan terjadinya kecelakaan kerja. Ketiga faktor tersebut yaitu sifat dari kerja itu sendiri, jadwal kerja, dan iklim psikologis di tempat kerja.

1. Sifat kerja.

Menurut kajian para ahli keselamatan, sifat kerja mempengaruhi tingkat kecelakaan. Sebagai contoh, karyawan yang bekerja sebagai operator *crane* (derek) akan memiliki resiko kecelakaan kerja yang lebih tinggi dibandingkan mereka yang bekerja sebagai supervisor/ penyelia.

2. Jadwal kerja.

Jadwal kerja dan kelelahan kerja juga mempengaruhi kecelakaan kerja. Tingkat kecelakaan kerja biasanya stabil pada jam 6 – 7 jam pertama di hari kerja. Akan tetapi pada jam-jam sesudah itu, tingkat kecelakaan kerja akan lebih tinggi. Hal ini dimungkinkan karena karyawan atau tenaga kerja sudah melampaui tingkat kelelahan yang tinggi. Kenyataan di lapangan juga membuktikan bahwa kerja malam mempunyai resiko kecelakaan lebih tinggi dari pada kerja pada siang hari.

3. Iklim psikologis tempat kerja.

Iklm psikologis di tempat kerja juga berpengaruh pada kecelakaan kerja. Karyawan atau tenaga kerja yang bekerja dibawah tekanan stres atau yang merasa pekerjaan mereka terancam atau yang merasa tidak aman akan mengalami lebih banyak kecelakaan kerja dari pada mereka yang tidak mengalami tekanan .

Tindakan Tidak Aman yang Dilakukan oleh Tenaga Kerja.

Adalah tidak mungkin menghilangkan kecelakaan kerja hanya dengan mengurangi keadaan yang tidak aman, karena pelaku kecelakaan kerja adalah manusia. Para ahli belum dapat menemukan cara yang benar-benar jitu untuk menghilangkan tindakan karyawan yang tidak aman. Tindakan-tindakan tersebut adalah:

- a. Melempar atau membuang material.
- b. Mengoperasikan dan bekerja pada kecepatan yang tidak aman, apakah itu terlalu cepat ataupun terlalu lambat.
- c. Membuat peralatan keselamatan dan keamanan tidak beroperasi dengan cara memindahkan, mengubah setting, atau memasang kembali.
- d. Memakai peralatan yang tidak aman atau menggunakannya secara tidak aman.
- e. Menggunakan prosedur yang tidak aman saat mengisi, menempatkan, mencampur, dan mengkombinasikan material.
- f. Berada pada posisi tidak aman di bawah muatan yang tergantung. Menaikkan lift dengan cara yang tidak benar.
- g. Pikiran kacau, gangguan penyalahgunaan, kaget, dan tindakan kasar lain.

Tindakan-tindakan seperti ini dapat menyebabkan usaha perusahaan atau tempat kerja meminimalkan kondisi kerja yang tidak aman menjadi sia-sia. Oleh karena itu kita harus mengidentifikasi penyebab tindakan-tindakan di atas. Hal-hal berikut ini dapat dipakai sebagai alat bantu dalam mengidentifikasi tindakan-tindakan di atas:

- a. Karakteristik pribadi karyawan.
- b. Karyawan yang mudah mengalami kecelakaan (*accident prone*).
- c. Daya penglihatan karyawan.
- d. Usia karyawan
- e. Persepsi dan ketrampilan gerak karyawan
- f. Minat karyawan.

CARA MENCEGAH KECELAKAAN

Setelah mencermati sebab-sebab terjadinya kecelakaan di tempat kerja, maka dalam prakteknya, pencegahan kecelakaan kerja dapat dilakukan dengan dua aktivitas dasar yaitu:

- a. Mengurangi kondisi kerja yang tidak aman.

Mengurangi kondisi kerja yang tidak aman menjadi lini depan perusahaan atau laboratorium dalam mencegah kecelakaan kerja. Penanggungjawab keselamatan kerja harus merancang tugas sedemikian rupa untuk menghilangkan atau mengurangi bahaya fisik. Gunakan *risk assesment* atau *checklist* inspeksi alat untuk mengidentifikasi dan menghilangkan bahaya-bahaya yang potensial.

- b. Mengurangi tindakan karyawan yang tidak aman.

Tindakan-tindakan karyawan yang tidak aman (atau tidak sesuai prosedur kerja) dapat dikurangi dengan berbagai aktivitas/ cara, yaitu:

- 1) seleksi dan penempatan
- 2) propaganda, kampanye, atau mengenai keselamatan kerja
- 3) pelatihan mengenai prosedur kerja dan keselamatan kerja serta dorongan positif (*positive reinforcement*)
- 4) komitmen dari manajer tingkat atas (*top management*).

MENGHINDARI KECELAKAAN KERJA

Untuk mengendalikan suatu proses diperlukan alat penunjuk, alat pengendali, dan supaya bahaya dapat diperkecil dibutuhkan juga alat pengaman. Dalam rangka mengendalikan suatu proses, variabel penting yang mudah dikendalikan meliputi, suhu, tekanan, dan konsentrasi. Untuk penunjuk faktor bahaya yang lain, seperti adanya kebocoran gas yang mudah terbakar, gas beracun, atau cairan yang mudah merusak, umumnya masih digunakan panca indera manusia. Kebocoran gas yang mudah terbakar atau berbahaya diketahui dari bau yang khas, atau dapat dipantau dengan menempatkan binatang percobaan seperti tikus, kelinci, dan lain-lainnya.

Alat pengendali proses dalam industri berkait langsung dengan keselamatan kerja. Dengan adanya alat pengendali proses, bahaya kebakaran, peledakan, dan keracunan dapat ditekan sampai batas yang sekecil-kecilnya. Meskipun demikian peran manusia sebagai pengendali masih tetap diperlukan terutama untuk mengawasi faktor-faktor bahaya yang belum diketemukan cara pengendaliannya seperti gas beracun atau gas mudah terbakar lainnya yang bocor dari reaktor.

Alat pengaman diperlukan agar kemungkinan timbulnya bahaya dapat diperkecil. Alat pengaman dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu pengaman alat berbahaya dan pengaman manusia yang melayani alat itu. Proses produksi barang dan jasa dapat mengakibatkan kondisi kritis yang membahayakan sehingga timbul malapetaka *major accident* dengan dampak yang luas dan sulit ditanggulangi.

Dikenal istilah 5 K akibat kecelakaan, yaitu:

1. Kerusakan dan kerugian materi.
2. Kekacauan dan disorganisasi.
3. Keluhan dan kesedihanl.
4. Kelainan dan cacat.
5. Kematian.

RINGKASAN CARA-CARA MENANGGULANGI KECELAKAAN

1. Periksa dan hilangkan kondisi-kondisi kerja yang tidak aman. Gunakan daftar periksa (*checklist*) untuk identifikasi masalah. Jika bahaya tidak dapat dihilangkan, berjaga-jagalah (misalnya dengan pagar pengaman) atau bila perlu gunakan peralatan pelindung seperti topi, kaca mata, helm, atau sepatu pengaman.
2. Melalui seleksi, cobalah memilah/mengeluarkan karyawan yang mungkin mudah mendapatkan kecelakaan untuk pekerjaan yang sedang dalam penyelidikan.
3. Buatlah suatu kebijakan keselamatan kerja yang menekankan bahwa perusahaan akan melakukan usaha maksimal untuk menekan angka kecelakaan kerja dan menekankan pentingnya mencegah kecelakaan dan cedera kerja pada perusahaan atau laboratorium.

4. Tetapkanlah suatu tujuan yang terkendali/terkontrol yang tidak boleh gagal. Analisis jumlah kecelakaan kerja dan insiden keselamatan kerja, kemudian tetapkan target yang ingin dicapai, misalnya dalam bentuk rasio kecelakaan kerja per jumlah karyawan atau tenaga kerja.
5. Dorong dan latihlah karyawan agar sadar akan pentingnya keselamatan kerja, tunjukkan kepada mereka bahwa manajemen tingkat atas (*top management*) perusahaan dan supervisor punya perhatian yang serius terhadap keselamatan dan kesehatan kerja.
6. Tegakkanlah aturan keselamatan kerja yang mendukung upaya-upaya menekan angka kecelakaan dan cedera akibat kerja.
7. Adakan pemeriksaan keselamatan dan kesehatan kerja secara teratur. Juga lakukan investigasi terhadap kecelakaan kerja dan yang nyaris menimbulkan kecelakaan kerja. Buatlah suatu sistem di tempat kerja tersebut yang memungkinkan karyawan dapat mengingatkan pihak manajemen tentang adanya keadaan-keadaan bahaya atau yang berpotensi menimbulkan bahaya.

SUMBER-SUMBER KECELAKAAN KERJA

Sumber-sumber yang menimbulkan bahaya dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Keadaan mesin, pesawat, alat kerja, dan bahan.
2. Lingkungan kerja.
3. Sifat pekerjaan.
4. Cara kerja.

5. Proses produksi atau tempat pelaksanaan pekerjaan.

Keselamatan dan kesehatan kerja dapat dicapai apabila para karyawan atau tenaga kerja:

1. Mengetahui prosedur kerja yang benar.
2. Mengetahui baha yang menjadi obyek kerja.
3. Mengetahui peralatan kerja.
4. Mengetahui cara praktek keselamatan kerja.

Manajemen resiko (*risk management*) adalah proses yang mendefinisikan ruang lingkup kerja, mengidentifikasi sumber kecelakaan kerja yang potensial dan akhirnya menentukan langka atau kontrol untuk mengurangi resiko. Penerapan manejemen resiko melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Penentuan ruang lingkup proyek atau pekerjaan dengan menentukan tujuan proyek, dimana, kapan, dan bagaimana akan dikerjakan serta siapa yang mengerjakan dengan disertai kualifikasi menyangkut pengetahuan, ketrampilan, dan keahlian masing-masing personel.
2. Mengidentifikasi bahan dan proses yang digunakan.
3. Menentukan sumber kecelakaan kerja yang menyertai proses yang akan dilakukan dengan mencari informasi tentang bahan yang digunakan, bahaya, dan kemungkinan kesalahan kerja yang dapat menimbulkan kecelakaan kerja.
4. Evaluasi tingkat resiko kerja.
5. Penentuan langkah dan kontrol yang harus diambil, seperti penanganan khusus terhadap bahan, proteksi alat kerja, dan penggunaan prosedur khusus penanganan proses.

6. Pengawasan dan pelaporan seluruh proses juga jika terjadi perubahan bahan, proses, atau prosedur kerja.

Faktor-faktor yang besar pengaruhnya terhadap timbulnya bahaya dalam proses industri maupun laboratorium meliputi suhu, tekanan, dan konsentrasi zat-zat pereaksi. Suhu yang tinggi diperlukan dalam rangka menaikkan kecepatan reaksi kimia dalam industri, hanya saja ketahanan alat terhadap suhu harus dipertimbangkan. Tekanan yang tinggi diperlukan untuk mempercepat reaksi, akan tetapi kalau tekanan sistem melampaui batas yang diperkenankan dapat terjadi peledakan. Apalagi jika proses dilakukan pada suhu tinggi dan reaktor tidak kuat lagi menahan beban. Konsentrasi zat pereaksi yang tinggi dapat menyebabkan korosif terhadap reaktor dan dapat mengurangi umur peralatan. Selain itu sifat bahan seperti bahan yang mudah terbakar, mudah meledak, bahan beracun, atau dapat merusak bagian tubuh manusia.

Beberapa sumber bahaya yang berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Bahan Kimia.

Meliputi bahan mudah terbakar, bersifat racun, korosif, tidak stabil, sangat reaktif, dan gas yang berbahaya. Penggunaan senyawa yang bersifat karsinogenik dalam industri maupun laboratorium merupakan problem yang signifikan, baik karena sifatnya yang berbahaya maupun cara yang ditempuh dalam penanganannya. Beberapa langkah yang harus ditempuh dalam penanganan bahan kimia berbahaya meliputi manajemen, cara pengatasan, penyimpanan dan pelabelan, keselamatan di laboratorium, pengendalian dan pengontrolan tempat kerja, dekontaminasi, disposal, prosedur keadaan darurat, kesehatan pribadi para pekerja, dan pelatihan.

Bahan kimia dapat menyebabkan kecelakaan melalui pernafasan (seperti gas beracun), serapan pada kulit (cairan), atau bahkan tertelan melalui mulut untuk padatan dan cairan.

Bahan kimia berbahaya dapat digolongkan ke dalam beberapa kategori yaitu, bahan kimia yang eksplosif (oksidator, logam aktif, hidrida, alkil logam, senyawa tidak stabil secara termodinamika, gas yang mudah terbakar, dan uap yang mudah terbakar). Bahan kimia yang korosif (asam anorganik kuat, asam anorganik lemah, asam organik kuat, asam organik lemah, alkil kuat, pengoksidasi, pelarut organik). Bahan kimia yang merusak paru-paru (asbes), bahan kimia beracun, dan bahan kimia karsinogenik (memicu pertumbuhan sel kanker), dan teratogenik.

2. Bahan-bahan Biologis.

Bakteri, jamur, virus, dan parasit merupakan bahan-bahan biologis yang sering digunakan dalam industri maupun dalam skala laboratorium. Pada golongan ini bukan hanya organisme saja, tetapi juga semua bahan biokimia, termasuk di dalamnya gula sederhana, asam amino, dan substrat yang digunakan dalam proses industri. Penanganan dalam penyimpanan, proses, maupun pembuangan bahan biologis ini perlu mendapatkan ketelitian dan kehati-hatian, mengingat gangguan kontaminasi akibat organisme dapat menyebabkan kerusakan sel-sel tubuh yang serius pada karyawan atau tenaga kerja.

3. Aliran Listrik

Penggunaan peralatan dengan daya yang besar akan memberikan kemungkinan-kemungkinan untuk terjadinya kecelakaan kerja. Beberapa faktor yang harus diperhatikan antara lain:

- a. Pemakaian safety switches yang dapat memutus arus listrik jika penggunaan melebihi limit/batas yang ditetapkan oleh alat.
- b. Improvisasi terhadap peralatan listrik harus memperhatikan standar keamanan dari peralatan.
- c. Penggunaan peralatan yang sesuai dengan kondisi kerja sangat diperlukan untuk menghindari kecelakaan kerja.
- d. Berhati-hati dengan air. Jangan pernah meninggalkan perkeraan yang memungkinkan peralatan listrik jatuh atau bersinggungan dengan air. Begitu juga dengan semburan air yang langsung berinteraksi dengan peralatan listrik.
- e. Berhati-hati dalam membangun atau mereparasi peralatan listrik agar tidak membahayakan pengguna yang lain dengan cara memberikan keterangan tentang spesifikasi peralatan yang telah direparasi.
- f. Pertimbangan bahwa bahan kimia dapat merusak peralatan listrik maupun isolator sebagai pengaman arus listrik. Sifat korosif dari bahan kimia dapat menyebabkan kerusakan pada komponen listrik.
- g. Perhatikan instalasi listrik jika bekerja pada atmosfer yang mudah meledak. Misalnya pada lemari asam yang digunakan untuk pengendalian gas yang mudah terbakar.
- h. Pengoperasian suhu dari peralatan listrik akan memberikan pengaruh pada bahan isolator listrik. Temperatur sangat rendah menyebabkan isolator akan mudah patah dan rusak. Isolator yang terbuat dari bahan *polivinil clorida* (PVC) tidak baik digunakan pada suhu di bawah 0 °C. Karet silikon dapat

digunakan pada suhu $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Batas maksimum pengoperasian alat juga penting untuk diperhatikan. Bahan isolator dari *polivinil clorida* dapat digunakan sampai pada suhu $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, sedangkan karet silikon dapat digunakan sampai pada suhu $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4. Ionisasi Radiasi

Ionisasi radiasi dapat dikeluarkan dari peralatan semacam X-ray difraksi atau radiasi internal yang digunakan oleh material radioaktif yang dapat masuk ke dalam badan manusia melalui pernafasan, atau serapan melalui kulit. Non-ionisasi radiasi seperti ultraviolet, infra merah, frekuensi radio, laser, dan radiasi elektromagnetik dan medan magnet juga harus diperhatikan dan dipertimbangkan sebagai sumber kecelakaan kerja.

5. Mekanik.

Walaupun industri dan laboratorium moderen lebih didominasi oleh peralatan yang terkontrol oleh komputer, termasuk didalamnya robot pengangkat benda berat, namun demikian kerja mekanik masih harus dilakukan. Pekerjaan mekanik seperti transportasi bahan baku, penggantian peralatan habis pakai, masih harus dilakukan secara manual, sehingga kesalahan prosedur kerja dapat menyebabkan kecelakaan kerja. Peralatan keselamatan kerja seperti helmet, sarung tangan, sepatu, dan lain-lain perlu mendapatkan perhatian khusus dalam lingkup pekerjaan ini.

6. Api.

Hampir semua laboratorium atau industri menggunakan bahan kimia dalam berbagai variasi penggunaan termasuk proses pembuatan, pemformulaan atau analisis. Cairan mudah terbakar yang sering digunakan dalam laboratorium atau

industri adalah hidrokarbon. Bahan mudah terbakar yang lain misalnya pelarut organik seperti aseton, benzen, butanol, etanol, dietil eter, karbon disulfida, toluena, heksana, dan lain-lain. Para pekerja harus berusaha untuk akrab dan mengerti dengan informasi yang terdapat dalam *Material Safety Data Sheets (MSDS)*. Dokumen MSDS memberikan penjelasan tentang tingkat bahaya dari setiap bahan kimia, termasuk di dalamnya tentang kuantitas bahan yang diperkenankan untuk disimpan secara aman.

Sumber api yang lain dapat berasal dari senyawa yang dapat meledak atau tidak stabil. Banyak senyawa kimia yang mudah meledak sendiri atau mudah meledak jika bereaksi dengan senyawa lain. Senyawa yang tidak stabil harus diberi label pada penyimpanannya. Gas bertekanan juga merupakan sumber kecelakaan kerja akibat terbentuknya atmosfer dari gas yang mudah terbakar.

7. Suara (kebisingan).

Sumber kecelakaan kerja yang satu ini pada umumnya terjadi pada hampir semua industri, baik industri kecil, menengah, maupun industri besar. Generator pembangkit listrik, instalasi pendingin, atau mesin pembuat vakum, merupakan sekian contoh dari peralatan yang diperlukan dalam industri. Peralatan-peralatan tersebut berpotensi mengeluarkan suara yang dapat menimbulkan kecelakaan kerja dan gangguan kesehatan kerja. Selain angka kebisingan yang ditimbulkan oleh mesin, para pekerja harus memperhatikan berapa lama mereka bekerja dalam lingkungan tersebut. Pelindung telinga dari kebisingan juga harus diperhatikan untuk menjamin keselamatan kerja.

**PENGENALAN BAHAN KIMIA BERACUN DAN BERBAHAYA
SERTA TEKNIK PREPARASI BAHAN**

A. PENGENALAN BAHAN B3

1. Petunjuk umum untuk menangani buangan sampah.

Semua bahan buangan atau sampah seharusnya dikumpulkan menurut jenis bahan tersebut. Bahan-bahan tersebut ada yang dapat didaur ulang dan ada pula yang tidak dapat didaur ulang. Bahan yang termasuk kelompok bahan buangan/sampah yang dapat di daur ulang antara lain gelas, kaleng, botol baterai, sisa-sisa konstruksi bangunan, sampah biologi seperti tanaman, buah-buahan, kantong the dan beberapa jenis bahan-bahan kimia. Sedangkan bahan-bahan buangan yang tidak dapat didaur ulang atau yang sukar didaur ulang seperti plastik hendaknya dihancurkan. Karena belum ada aturan yang jelas dalam cara pembuangan jenis sampah di Indonesia, maka sebelum sampah dibuang harus berkonsultasi terlebih dahulu dengan pengurus atau pengelola laboratorium yang bersangkutan.

2. Bahan-bahan buangan yang umum terdapat di laboratorium.

1. Fine chemicals.

Fine chemicals hanya dapat dibuang ke saluran pembuangan atau tempat sampah jika :

- a. Tidak bereaksi dengan air.
- b. Tidak eksplosif (mudah meledak).
- c. Tidak bersifat radioaktif.

- d. Tidak beracun.
- e. Komposisinya diketahui jelas.

2. Larutan basa.

Hanya larutan basa dari alkali hidroksida yang bebas sianida, amoniak, senyawa organik, minyak dan lemak dapat dibuang ke saluran pembuangan. Sebelum dibuang larutan basa itu harus dinetralkan terlebih dahulu. Proses penetralan dilakukan pada tempat yang disediakan dan dilakukan menurut prosedur mutu laboratorium.

3. Larutan asam.

Seperti juga larutan basa, larutan asam tidak boleh mengandung senyawa-senyawa beracun dan berbahaya dan selain itu sebelum dibuang juga harus dinetralkan pada tempat dan prosedur sesuai ketentuan laboratorium.

4. Pelarut.

Pelarut yang tidak dapat digunakan lagi dapat dibuang ke saluran pembuangan jika tidak mengandung halogen (bebas Fluor, Clorida, Bromida, dan Iodida). Jika diperlukan dapat dinetralkan terlebih dahulu sebelum dibuang ke saluran air keluar. Untuk pelarut yang mengandung halogen seperti kloroform (CHCl_3) sebelum dibuang harus dilakukan konsultasi terlebih dahulu dengan pengurus atau pengelola laboratorium tempat dimana bahan tersebut akan dibuang.

5. Bahan mengandung merkuri.

Untuk bahan yang mengandung merkuri (seperti pecahan termometer merkuri, manometer, pompa merkuri, dan sebagainya) pembuangan harus ekstra hati-hati.

Perlu dilakukan konsultasi terlebih dahulu dengan pengurus atau pengelola laboratorium sebelum bahan tersebut dibuang.

6. Bahan radiokatif.

Sampah radioaktif memerlukan penanganan yang khusus. Otoritas yang berwenang dalam pengelolaan sampah radioaktif di Indonesia adalah Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN).

7. Air pembilas.

Air pembilas harus bebas merkuri, sianida, ammoniak, minyak, lemak, dan bahan beracun serta bahan berbahaya lainnya sebelum dibuang ke saluran pembuangan keluar.

3. Penanganan Kebakaran dan Simbol-simbol Bahaya.

Beberapa bahan kimia seperti eter, metanol, kloroform, dan lain-lain bersifat mudah terbakar dan mudah meledak. Apabila karena sesuatu kelalaian terjadi kecelakaan sehingga mengakibatkan kebakaran laboratorium atau bahan-bahan kimia, maka kita harus melakukan usaha-usaha sebagai berikut:

- a. Jika apinya kecil, maka lakukan pemadaman dengan Alat Pemadam Api Ringan (APAR).
- b. Matikan sumber listrik/ gardu utama agar listrik tidak mengganggu upaya pemadaman kebakaran.
- c. Lokalisasi api supaya tidak merembar ke arah bahan mudah terbakar lainnya.

- d. Jika api mulai membesar, jangan mencoba-coba untuk memadamkan api dengan APAR. Segera panggil mobil unit Pertolongan Bahaya Kebakaran (PBK) yang terdekat.
- e. Bersikaplah tenang dalam menangani kebakaran, dan jangan mengambil tindakan yang membahayakan diri sendiri maupun orang lain.

4. Bahan-bahan Berbahaya serta Karsinogenik.

Tabel di bawah memuat daftar beberapa bahan-bahan kimia beerbahaya dan karsinogenik yang sering dijumpai di laboratorium-laboratorium kimia baik di Indonesia maupun di luar negeri.

B. TEKNIK PREPARASI

Preparasi merupakan teknik laboratorium yang sangat penting dikuasai oleh setiap kimiawan. Tanpa pengetahuan dan ketrampilan yang memadai dalam teknik preparasi ini, maka akan sangat sulit untuk menjalankan eksperimen/percobaan kimia secara baik dan benar di laboratorium. Menjalankan eksperimen dengan baik dan benar juga menyangkut efisiensi dan tidak membahayakan bagi diri sendiri maupun orang lain baik yang ada disekitarnya maupun yang berada di tempat lain. Bagi mahasiswa pemula agar mereka kelak dapat melakukan eksperimen kimia secara baik dan benar maka perlu dibekali dengan pengetahuan dan ketrampilan teknik preparasi. Tulisan ini akan memaparkan beberapa penegetahuan penting yang harus dikuasai oleh para pemula dalam disiplin ilmu kimia.

1. Konsentrasi Larutan.

Beberapa jenis konsentrasi yang perlu diketahui dan yang sering digunakan di laboratorium antara lain:

1. Molaritas (M).

Molaritas menyatakan banyaknya mol zat terlarut yang terdapat di dalam satu liter larutan.

Misal akan di buat larutan NaOH 0,1 M sebanyak 1000 mL.

Diketahui bahwa Mr NaOH = 40

Maka ini berarti bahwa 1 mol NaOH massanya adalah 40 g.

Sehingga untuk 0,1 mol NaOH massanya adalah 4 g. Untuk membuat larutan NaOH 0,1 M sebanyak 1000 mL, maka sebanyak 4 gram kristal NaOH dilarutkan ke dalam akuades sedemikian rupa sehingga volume larutannya adalah 1000 mL atau 1 L.

2. Normalitas (N).

Normalitas menyatakan banyaknya gram ekuivaleen (grek) zat terlarut yang terdapat dalam satu liter larutan.

3. Molalitas (m).

Molalitas adalah menyatakan banyaknya mol zat terlarut yang terdapat dalam satu kilogram pelarut.

4. Fraksi mol (X).

Fraksi mol adalah perbandingan antara jumlah mol zat terlarut dalam larutan terhadap jumlah mol total zat-zat yang ada dalam larutan (pelarut dan zat terlarut)..

5. Persen (%).

Ada beberapa macam pernyataan persentase yang sering digunakan di laboratorium, antara lain:

- a. persen volume/volume (v/v), menyatakan banyaknya spesies kimia yang ada di dalam larutan yang dinyatakan dalam satuan mL per 100 mL larutan.
- b. Persen berat/volume (b/v), menyatakan banyaknya spesies kimia yang ada di dalam larutan yang dinyatakan dalam satuan berat (gram) per 100 gram larutan.
- c. Persen berat/berat, menyatakan banyaknya spesies kimia yang ada di dalam larutan atau campuran/padatan yang dinyatakan dalam satuan gram per 100 gram larutan atau campuran atau padatan.

2. Penyiapan Alat.

Alat yang akan digunakan dalam eksperimen atau percobaan kimia harus disesuaikan dengan jenis dari bahan yang akan ditangani. Bahan-bahan tersebut dapat berupa cairan, padatan, atau gas.

- a. Bahan-bahan berupa cairan.

Untuk menangani bahan berupa cairan diperlukan alat-alat gelas seperti Gelas Ukur, Pipet Gondok, Labu Takar, Erlenmeyer, Corong, dan lain-lainnya.

- b. Bahan-bahan berupa padatan.

Untuk menangani bahan berupa padatan, terutama padatan dalam bentuk serbuk dibutuhkan alat-alat sebagai berikut: Alat Timbang, Gelas Arloji, Spatula/Sendok Sungu, Corong, dan Erlenmeyer.

c. Bahan-bahan berupa gas.

Untuk menangani bahan-bahan berupa gas diperlukan alat-alat dengan spesifikasi standar yang telah ditentukan untuk setiap jenis gas. Hal ini dikarenakan setiap jenis gas mempunyai karakteristik dan resiko yang dihadapi oleh pengguna lebih tinggi daripada bila menangani bahan-bahan cair maupun padatan.

3. Hasil Reaksi atau Isolasi.

Kebanyakan penelitian kimia eksperimental bertujuan untuk mengisolasi suatu senyawa dari suatu bahan atau memproduksi/ sintesis suatu senyawa. Produk isolasi atau sintesis tersebut umumnya belum dalam keadaan murni, sehingga perlu dilakukan pemurnian terhadap zat hasil. Beberapa teknik pemurnian yang banyak dipakai dalam kimia eksperimental akan dibahas dalam pokok bahasan berikut.

4. Teknik Pemurnian.

a. Kristalisasi dan Rekrystalisasi.

Kristalisasi adalah suatu teknik untuk mendapatkan bahan murni suatu senyawa. Dalam sintesis kimia banyak senyawa-senyawa kimia yang dapat dikristalkan. Untuk mengkristalkan senyawa-senyawa tersebut, biasanya dilakukan terlebih dahulu penjuanan larutan kemudian diikuti dengan penguapan pelarut serta

perlahan-lahan sampai terbentuk kristal. Pengkristalan dapat pula dilakukan dengan mendinginkan larutan jenuh pada temperatur yang sangat rendah di dalam lemari es atau freezer.

Rekristalisasi adalah suatu teknik pemurnian bahan kristalin. Seringkali senyawa yang diperoleh dari hasil suatu sintesis kimia memiliki kemurnian yang tidak terlalu tinggi. Untuk memurnikan senyawa tersebut perlu dilakukan rekristalisasi. Untuk merekristalisasi suatu senyawa kita harus memilih pelarut yang cocok dengan senyawa tersebut. Setelah senyawa tersebut dilarutkan ke dalam pelarut yang sesuai kemudian dipanaskan (*direfluks*) sampai semua senyawa tersebut larut sempurna. Apabila pada temperatur kamar, senyawa tersebut sudah larut secara sempurna di dalam pelarut, maka tidak perlu lagi dilakukan pemanasan. Pemanasan hanya dilakukan apabila senyawa tersebut belum atau tidak larut sempurna pada keadaan suhu kamar. Setelah senyawa/solut tersebut larut sempurna di dalam pelarut baik dengan pemanasan maupun tanpa pemanasan, maka kemudian larutan tersebut disaring dalam keadaan panas. Kemudian larutan hasil penyaringan tersebut didinginkan perlahan-lahan sampai terbentuk kristal.

Salah satu faktor penentu keberhasilan proses kristalisasi dan rekristalisasi adalah pemilihan zat pelarut. Pelarut yang digunakan dalam proses kristalisasi dan rekristalisasi sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- 1) Memiliki gradient temperatur yang besar dalam sifat kelarutannya.
- 2) Titik didih pelarut harus di bawah titik lebur senyawa yang akan di kristalkan.

- 3) Titik didih pelarut yang rendah sangat menguntungkan pada saat pengeringan.
- 4) Bersifat inert (tidak bereaksi) terhadap senyawa yang akan dikristalkan atau direkristalisasi.

Apabila zat atau senyawa yang akan kita kristalisasi atau rekristalisasi tidak dikenal secara pasti, maka kita setidaknya-tidaknya kita harus mengenal komponen penting dari senyawa tersebut. Jika senyawa tersebut adalah senyawa organik, maka yang kita ketahui sebaiknya adalah gugus-gugus fungsional senyawa tersebut. Apakah gugus-gugus tersebut bersifat hidrofobik atau hidrofilik. Dengan kata lain kita minimal harus mengetahui polaritas senyawa yang akan kita kristalkan atau rekristalisasi. Setelah polaritas senyawa tersebut kita ketahui kemudian dipilihlah pelarut yang sesuai dengan polaritas senyawa tersebut. Tabel berikut ini memuat beberapa pelarut yang biasa digunakan dalam proses kristalisasi maupun rekristalisasi.

Tabel 1. Polaritas beberapa pelarut.

No	Polaritas	Pelarut/Solvent
1	Polaritas rendah	Petroleum eter, Toluene.
2	Polaritas sedang	Dietil eter, Aseton
3	Polaritas tinggi	Etanol, Air

b. Sublimasi.

Sublimasi adalah peristiwa penguapan secara langsung padatan kristalin ke dalam fasa uap. Contoh klasik sublimasi adalah penguapan kamfer (kapus barus). Sublimasi dapat digunakan sebagai metode pemurnian padatan kristalin. Beberapa senyawa kimia dapat menyublim pada temperatur dan tekanan kamar, namun banyak yang beru dapat menyublim apabila tekanan diturunkan. Untuk mendapatkan bahan murni, fasa uap bahan tersublim didinginkan secara perlahan-lahan sehingga terbentuk kristal.

c. Destilasi.

Destilasi juga merupakan salah satu teknik memurnikan senyawa kimia. Senyawa yang akan dimurnikan harus berupa cairan. Destilasi bekerja berdasarkan perbedaan titik didih senyawa-senyawa di dalam larutan. Senyawa-senyawa yang dimurnikan akan terpisah berdasarkan perbedaan titik didihnya. Senyawa-senyawa dengan titik didih rendah akan terpisah terlebih dahulu diikuti dengan senyawa-senyawa yang memiliki titik didih yang lebih tinggi.

5. Uji Kkemurnian.

Untuk mengetahui kemurnian suatu senyawa hasil pemurnian seperti yang telah dijelaskan di atas, maka digunakan beberapa teknik uji kemurnian bahan yang relatif sederhana seperti uji titik leleh, uji indeks bias, uji berat jenis, uji titik didih, dan uji kekentalan (viskositas).

1. Uji titik leleh.

Uji titik leleh merupakan salah satu teknik uji kemurnian bahan padat yang cukup akurat terutama jika titik leleh bahan telah diketahui sebelumnya. Titik leleh bahan murni dapat dilihat pada table spesifikasi bahan yang tersedia di perpustakaan laboratorium. Akan tetapi untuk bahan-bahan yang sama sekali baru, teknik ini juga dapat digunakan. Bahan-bahan murni umumnya memiliki interval titik leleh yang sempit.

2. Uji indeks bias.

Indeks bias suatu cairan dapat digunakan sebagai faktor penentu kemurnian bahan. Namun demikian seperti juga metode titik leleh, metode uji indeks bias ini lebih tepat untuk digunakan sebagai tes uji kemurnian bahan yang indeks bias bahan murninya telah diketahui dengan pasti terlebih dahulu. Untuk bahan-bahan yang sama sekali baru, maka metode uji indeks bias ini juga dapat diterapkan dengan hati-hati.

3. Uji berat jenis.

Uji berat jenis merupakan salah satu teknik uji kemurnian yang cukup akurat. Archimedes menguji kemurnian emas mahkota raja berdasarkan prinsip uji berat jenis ini. Setiap zat murni mempunyai berat jenis yang spesifik yang dapat digunakan sebagai dasar pengujian bahan.

4. Uji titik didih.

Uji titik didih juga dapat digunakan untuk mengetahui kemurnian suatu bahan. Uji ini dapat diterapkan pada senyawa berwujud cairan yang bahan cair murninya telah diketahui titik didihnya secara pasti. Uji titik didih senyawa murni dapat dilihat pada tabel di buku katalog di perpustakaan laboratorium. Untuk bahan-bahan lain yang titik didih murninya belum diketahui secara pasti, uji titik didih ini dapat dilakukan dengan hati-hati.

5. Uji kekentalan.

Uji kekentalan dapat dilakukan untuk mengetahui kemurnian suatu bahan. Bahan-bahan cair yang dalam keadaan murni memiliki kekentalan yang khas dan berbeda dari senyawa yang lain. Uji ini dapat dilakukan untuk senyawa/ bahan cair yang kekentalannya telah diketahui secara pasti. Data kekentalan berbagai bahan murni dapat dilihat pada buku katalog bahan di perpustakaan laboratorium. Untuk bahan-bahan lain yang kekentalannya belum diketahui secara pasti maka uji ini dapat dilakukan secara hati-hati.

TEKNIK PERCOBAAN BERBAHAYA

Percobaan-percobaan dalam laboratorium dapat meliputi berbagai jenis pekerjaan diantaranya mereaksikan bahan-bahan kimia, destilasi, ekstraksi, memasang peralatan, dan sebagainya. Masing-masing teknik dapat mengandung bahaya yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Tentu saja bahan tersebut sangat berkaitan dengan penggunaan bahan dalam percobaan, sehingga susah untuk memisahkan bahaya antara teknik dan bahan. Walaupun demikian, dapat kiranya diuraikan secara tersendiri dan bersifat umum dari bahaya berbagai macam teknik dan bahan, sehingga memungkinkan untuk memperkecil dan memperkirakan bahaya yang dapat timbul dalam kaitannya dengan teknik dan bahan yang digunakan.

A. Reaksi Kimia

Semua reaksi kimia menyangkut perubahan energi yang diwujudkan dalam bentuk panas. Kebanyakan reaksi kimia disertai dengan pelepasan panas (reaksi eksotermis), meskipun adapula beberapa reaksi kimi yang menyerap panas (reaksi endotermis). Bahaya dari suatu reaksi kimia terutama adalah karena proses pelepasan energi (panas) yang demikian banyak dan dalam kecepatan yang sangat tinggi, sehingga tidak terkendalikan dan bersifat destruktif (merusak) terhadap lingkungan, termasuk operator/orang yang melakukannya.

Banyak kejadian dan kecelakaan di dalam laboratorium sebagai akibat reaksi kimia yang hebat atau eksplosif (bersifat ledakan). Namun kecelakaan tersebut pada hakikatnya disebabkan oleh kurangnya pengertian atau apresiasi terhadap faktor-faktor

kimia-fisika yang mempengaruhi kecepatan reaksi kimia. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan suatu reaksi kimia adalah konsentrasi pereaksi, kenaikan suhu reaksi, dan adanya katalis.

Sesuai dengan hukum aksi masa, kecepatan reaksi bergantung pada konsentrasi zat pereaksi. Oleh karena itu, untuk percobaan-percobaan yang belum dikenal bahayanya, tidak dilakukan dengan konsentrasi pekat, melainkan konsentrasi pereaksi kira-kira 10% saja. Kalau reaksi telah dikenal bahayanya, maka konsentrasi pereaksi cukup 2 – 5 % saja sudah memadai. Suatu contoh, apabila amonia pekat direaksikan dengan dimetil sulfat, maka reaksi akan bersifat eksplosif, akan tetapi tidak demikian apabila digunakan amonia encer.

Pengaruh suhu terhadap kecepatan reaksi kimia dapat diperkirakan dengan persamaan Arrhenius, dimana kecepatan reaksi bertambah secara kesponensial dengan bertambahnya suhu. Secara kasar apabila suhu naik sebesar 10 °C, maka kecepatan reaksi akan naik menjadi dua kali. Atau apabila suhu reaksi mendadak naik 100 °C, ini berarti bahwa kecepatan reaksi mendadak naik berlipat $2^{10} = 1024$ kali. Di sinilah pentingnya untuk mengadakan kendali terhadap suhu reaksi, misalnya dengan pendinginan apabila reaksi bersifat eksotermis. Suatu contoh asam meta-nitrobenzensulfonat pada suhu sekitar 150 °C akan meledak akibat reaksi penguraian eksotermis. Campuran kalium klorat, karbon, dan belerang menjadi eksplosif pada suhu tinggi atau jika kena tumbukan, pengadukan, atau gesekan (pemanasan pelarut). Dengan mengetahui pengaruh kedua faktor di atas maka secara umum dapatlah dilakukan pencegahan dan pengendalian terhadap reaksi-reaksi kimia yang mungkin bersifat eksplosif.

B. Pemanasan.

Pemanasan dapat dilakukan dengan listrik, gas, dan uap. Untuk laboratorium yang jauh dari sarana tersebut, kadang kala dipakai pula pemanas kompor biasa. Pemanasan tersebut biasanya digunakan untuk mempercepat reaksi, pelarutan, destilasi, maupun ekstraksi.

Untuk pemanasan pelarut-pelarut organik (titik didih di bawah 100 °C), seperti eter, metanol, alkohol, benzena, heksana, dan sebagainya, maka penggunaan penangas air adalah cara termurah dan aman. Pemanasan dengan api terbuka, meskipun dengan bagaimana api sekecil apapun, akan sangat berbahaya karena api tersebut dapat menyambar (meloncat) ke arah uap pelarut organik. Demikian juga pemanasan dengan *hot plate* juga berbahaya, karena suhu permukaan dapat jauh melebihi titik nyala pelarut organik.

Pemanasan pelarut yang bertitik didih lebih dari 100 °C, dapat dilakukan dengan aman apabila memakai labu gelas borosilikat dan pemanas listrik (*heating matle*). Pemanas tersebut ukurannya harus sesuai besarnya labu gelas. Penangas minyak dapat pula dipakai meskipun agak kurang praktis. Walaupun demikian penangas pasir yang dipanaskan dengan terbuka, tetap berbahaya untuk bahan-bahan yang mudah terbakar. Untuk keperluan pendidikan, pemanas bunsen dengan dilengkapi anyaman kawat (*wire gauze*) cukup murah dan memadai untuk bahan-bahan yang tidak mudah terbakar.

C. Destruksi.

Dalam analisis kimia terutama untuk mineral, tanah, atau makanan, diperlukan destruksi contoh agar komponen-komponen yang akan dianalisis terlepas dari matriks (senyawa-senyawa lain). Biasanya reaksi destruksi dilakukan dengan asam seperti asam sulfat pekat, asam nitrat, asam klorida tanpa atau ditambah atau ditambah peroksida seperti persulfat, perklorat, hidrogen peroksida, dan sebagainya. Selain itu, biasanya reaksi juga harus dipanaskan untuk mempermudah proses destruksi. Jelas dalam pekerjaan destruksi terkumpul beberapa faktor bahaya sekaligus, yaitu bahan berbahaya (eksplosif) dan kondisi suhu tinggi yang menambah tingkat bahaya.

Oleh karena itu, destruksi harus dilakukan amat berhati-hati, diantaranya adalah dengan:

1. Pelajari dan ikuti prosedur kerja secara seksama, termasuk pengukuran jumlah reagen secara tepat dan cara pemanasannya.
2. Percobaan dilakukan dalam almari asam. Hati-hati dalam membuka dan menutup pintu almari asam pada saat proses destruksi berlangsung.
3. Lindungi diri dengan kacamata/pelindungn muka dan sarung tangan pada setiap kali bekerja.
4. Terutama bagi para pekerja baru atau yang belum berpengalaman, diperlukan supervisi atau konsultasi dengan yang lebih berpengalaman.

Dengan cara di atas akan dapat dicegah terjadinya ledakan yang dapat mengakibatkan luka oleh pecahan kaca atau percikan bahan-bahan kimia yang panas dan korosif.

D. Destilasi.

Destilasi merupakan proses gabungan antara pemanasan dan pendinginan uap yang terbentuk sehingga diperoleh cairan kembali yang murni. Bahaya pemanasan cairan dapat dihindari dengan memperhatikan sub-bab pemanasan. Dalam pemanasan cairan biasanya ditambahkan batu didih (*boiling chips*), untuk mencegah pendidihan yang mendadak (*bumping*). Batu didih yang berpori perlu diganti setiap kali akan melakukan destilasi kembali. Untuk destilasi hampa udara (*vacuum distillation*), aliran udara melalui kapiler ke dalam bagian bawah labu dapat merupakan pengganti batu didih.

Bahaya yang sering timbul dalam pendingin Leibig adalah kurang kuatnya selang air baik dari keran maupun yang menuju pipa pendingin. Lepasnya selang air dapat menyebabkan banjir dan proses pendinginan tidak berjalan dan uap cairan berhamburan ke dalam ruangan laboratorium. Oleh karena itu, terutama untuk destilasi yang terus-menerus atau sering ditinggalkan, hubungan selang dengan keran dan pipa pendingin perlu diikat dengan kawat.

Labu didih yang terbuat dari gelas perlu dipilih yang kuat. Labu didih bekas atau yang telah lama dipakai, diperiksa terlebih dahulu terhadap kemungkinan adanya keretakan atau *scratch*. Hal ini penting, terlebih-lebih untuk destilasi vakum. Apabila pemanasan yang dipakai adalah penangas air, maka perlu diingat bahwa suhu permukaan bak penangas yang terbuat dari logam, dapat melebihi titik nyala dari pelarut yang dalam labu. Dengan demikian, harus dapat dihindarkan kontak antara cairan dengan permukaan penangas, baik pada saat mengisi labu destilasi dengan cairan maupun pemasangan atau pembongkaran peralatan destilasi.

E. Refluks.

Refluks juga merupakan gabungan anrara pemanasan cairan dan pendinginan uap, tetapi kondensat yang terbentuk dikembalikan ke dalam labu didih. Karena prosesnya mirip dengan destilasi, maka bahaya teknik tersebut serta cara pencegahannya adalah sama dengan teknik destilasi.

F. Pengukuran Volume Cairan

Memipet cairan atau larutan dalam volume tertentu dengan pipet, secara umum tidak diperkenankan memakai mulut untuk menghindari bahaya tertelan dan kontaminasi. Uap dan gas beracun dapat larut dalam air ludah (*saliva*). Memakai pompa karet (*rubber bulb*) untuk mengisi pipet merupakan cara yang paling aman dan praktis, meskipun memerlukan sedikit latihan. Sedangkan untuk cairan yang korosif dapat dilakukan dengan pipet isap (*hypodermic syringe*).

Apabila menuangkan cairan korosif dari sebuah botol, lindungi label botol terhadap kerusakan oleh tetesan cairan. Untuk menuangkan cairan ke dalam gelas ukur bermulut kecil, perlu dipakai corong gelas agar tidak tumpah.

G. Pendinginan.

Karbon dioksida padat (*dry ice*) dan nitrogen cair adalah pendingin yang sering dipakai. Keduanya dapat membakar atau “menggigit” kulit, sehingga dalam penanganannya harus memakai sarung tangan dan pelindung mata. Karbon dioksida dapat dipakai bersama-sama dengan pelarut organik untuk menambah pendinginan.

Karena banyak terbentuk gas (penguapan) maka pelarut yang digunakan harus nontoksik dan tidak mudah terbakar. Propana-2-ol lebih baik daripada pelarut organik terklonisasi atau aseton yang mudah terbakar.

Notrogen cair biasa dipakai sebagai “trap” uap air dalam destilasi vakum, agar air tidak merusak pompa. Dalam pendinginan tersebut udara dapat pula tersublimasi menjadi padat, termasuk oksigen dan hal ini berbahaya bila bercampur dengan bahan organik. Labu Dewar tempat nitrogen cair perlu pula dilindungi dengan logam agar tidak berbahaya bila pecah.

Baik karbon dioksida maupun nitrogen mempunyai berat jenis yang lebih berat daripada udara, sehingga dapat mendesak udara untuk pernafasan. Oleh karena itu, bekerja dengan kedua pendingin tersebut perlu dalam ruang yang berventilasi baik atau di ruang terbuka. Dalam transportasi di gedung bertingkat, keduanya sama sekali tidak boleh diangkut melewati lift penumpang. Kemacetan lift yang dapat terjadi sewaktu-waktu, dapat berakibat fatal karena gas tersebut akan mendesak oksigen dan kematian tidak dapat dihindarkan.

H. Perlakuan Terhadap Silika.

Silika dalam bentuk partikel-partikel kecil yang terserap ke dalam paru-paru dapat menimbulkan penyakit silikosis. Percobaan-percobaan dalam kromatografi lapis tipis, banyak memakai bubuk halus silika gel. Hindarkanlah bubuk halus tersebut, karena dapat terjadi hamburan di dalam ruang udara pernafasan kita.

Asbes juga merupakan sumber partikel silika dan dengan panjang serat sebesar 5 mikron sangat berbahaya. Asbes sebagai bahan isolasi panas dalam laboratorium

perlu dilapisi lagi dengan bahan yang dapat mencegah partikel halus beterbangan di udara tempat kita bernafas.

Glass wool apabila tidak hancur tidaklah berbahaya bagi paru-paru. Akan tetapi serat-serat *glass wool* tersebut sangat halus dan tajam serta dapat masuk ke dalam kulit apabila dipegang langsung oleh tangan kita. Ini akan menimbulkan gatal-gatal atau sakit dan oleh karena itu memegang *glass wool* harus dengan penjepit dari logam atau plastik.

I. Perlakuan Terhadap Air Raksa.

Percobaan-percobaan dengan manometer atau polarografi selalu memakai air raksa yang cukup berbahaya karena sifat racunnya ($NAB = 0,05 \text{ mg/m}^3$). Tetesan-tetesan air raksa dapat melenting atau meloncat tanpa dapat dilihat oleh mata kita, dan pecah berhamburan di atas meja kerja. Partikel-partikel kecil ini juga sukar kita lihat apalagi kalau sampai masuk ke celah-celah atau retakan-retakan meja. Apabila tidak hati-hati, maka ruang di mana kita bekerja dapat jenuh dengan uap air raksa. Udara ruangan yang jenuh dengan uap air raksa berarti telah jauh melebihi nilai ambang batas (NAB) uap air raksa tersebut.

Untuk menghindari bahaya tersebut di atas, daerah kerja dengan air raksa perlu dipasang dulang (*tray*) yang diisi air, agar percikan air raksa dapat dikumpulkan. Ventilasi yang baik sangat diperlukan, dan apabila tidak ada, maka bekerja dalam ruangan yang terbuka jauh lebih aman daripada dalam ruangan tertutup.

J. Bekerja Dengan Peralatan Sinar Ultraviolet dan Sinar X.

Banyak pekerjaan yang dilakukan dengan peralatan yang memancarkan cahaya ultraviolet (UV) seperti spektrofotometer atau kromatografi lapis tipis (TLC). Cahaya ultraviolet dapat merusak, dan terutama kerusakan pada korena mata. Oleh karena itu, harus dapat dihindarkan keterpaan cahaya ultraviolet pada mata, baik pada saat membuka peralatan spektrofotometer maupun pada saat menyinari noda-noda kromatografi lapis tipis (TLC) dengan cahaya ultraviolet.

Peralatan yang memakai sinar-X, seperti fluoresensi atau difraksi sinar-X, lebih berbahaya lagi bila tidak dilakukan dengan hati-hati. Sinar-X mempunyai daya tembus yang kuat dan dapat merusak sel-sel tubuh. Usaha untuk menghindari serta melindungi diri terhadap kemungkinan keterpaan radiasi sinar-X (yang tak dapat dilihat oleh mata) merupakan suatu keharusan dalam bekerja dengan peralatan tersebut.

Dengan sendirinya, hal yang sama pula dilakukan bila kita bekerja dengan peralatan yang memancarkan sinar gamma yang lebih kuat daripada sinar-X.