

1.3 MENGHILANGKAN BAHAYA

Banyak kecelakaan terjadi karena peralatan, meskipun sudah benar diisolasi, tidak bebas sama sekali dari bahan berbahaya atau karena tekanan di dalamnya tidak dibuang semua dan pekerja yang memperbaiki tidak menyadari ini.

1.3.1 Peralatan Tidak Bebas-Gas

Biasanya tes terhadap keberadaan gas atau uap yang bisa-terbakar dilakukan menggunakan detektor gas bisa-terbakar sebelum pekerjaan diizinkan dimulai, terutama pekerjaan pengelasan dan pekerjaan panas lain. Kejadian berikut menunjukkan apa yang terjadi jika tes ini tidak dilakukan atau tidak dilakukan menyeluruh. Banyak bagian peralatan atau sebagian besar kompleks harus dites di beberapa tempat, menggunakan detektor, dilengkapi dengan selang panjang jika diperlukan (lihat bagian 5.4.2.d).

- (a) Ledakan terjadi pada tangki penimbunan bawah tanah berkapasitas 4.000 m³ di Sheffield Gas Works, England, Oktober 1973. Enam orang terbunuh, 29 terluka, dan tangki rusak. Bagian atas tangki terlempar ke udara, berputar, dan mendarat terbalik di bagian bawah tangki.

Tangki berisi nafta ringan dan tidak dibersihkan sempurna sebelum perbaikan dimulai. Tangki telah diisi air dan kemudian dikuras, namun sebagian nafta masih tertinggal di berbagai sudut dan bagian yang sulit. (Mungkin, sebagai contoh, nafta masuk ke tiang atap yang kopong melalui lubang karat atau retakan yang kemudian dikuras ketika tangki dikosongkan.) Tidak ada tes dilakukan memakai detektor gas bisa-terbakar.

Diduga uap ini terbakar oleh pengelasan di dekat ventilasi. Mayat si pengelas ditemukan 35 m di atas sebuah tangki gas di dekatnya, masih memegang alat pengelas.

Menurut laporan kejadian, tidak ada kejelasan pembagian tanggung jawab antara Gas Board dan kontraktor yang melakukan perbaikan. "Seperti pada kasus ini, penelaahan khusus akan resiko seharusnya dilakukan mengingat lingkup pekerjaan yang akan dilakukan (dan pemilik fasilitas mempunyai pengetahuan khusus mengenai ini), pemilik harus melakukan kendali memadai untuk menjamin pekerja kontraktor terlindungi dengan baik terhadap resiko" [4].

- (b) Lubang-orang bagian bawah pada sebuah tangki kosong tapi masih penuh uap bensin dibuka. Uap keluar dari lubang dan tersambar api. Saat uap terbakar, udara tersedot ke dalam tangki melalui ventilasi hingga campuran menjadi eksplosif, tangki kemudian meledak [5].

(c) Pengelasan harus dilakukan, saat pabrik sedang mati, pada sebuah keran pelepas di jalur gas. Keran telah diputus pada kedua ujungnya. Empat jam kemudian atmosfer pada ujung terjauh pipa gas dari keran pelepas dites dengan detektor gas bisa-terbakar. Selang detektor dimasukkan sepanjang selang; tidak ada gas terdeteksi, dan izin kerja dikeluarkan. Ketika fleng-keluar keran pelepas dilepaskan, sebuah nyala dan ledakan terjadi pada ujung lain pipa gas. Untungnya, tidak ada yang terluka. Gas dalam pipa sepanjang 20 m dan punya beberapa belokan, tidak tercampur dan tidak terdeteksi oleh tes pada ujung yang lain.

Sebelum membolehkan pengelasan atau pekerjaan sejenis pada pipa yang mengandung atau mungkin mengandung cairan atau gas bisa-terbakar, (1) sapu jalur dengan kukus atau nitrogen dari ujung ke ujung, dan (2) tes pada ujung tempat pengelasan akan dilakukan. Jika perlu, lubang dibuat pada pipa dengan bor.

(d) Padatan dalam tangki bisa “menahan” gas yang kemudian terlepas perlahan. Sebuah reaktor yang berisi propilena dan lapisan butiran polipropilena setebal 1-1,5 m, harus disiapkan untuk perawatan. Reaktor sudah disapu dengan nitrogen enam kali. Tes di dekat lubang-orang menunjukkan hanya sedikit propilena, kurang dari 5% dari batas ledakan bawah (LEL).³⁰ Namun ketika reaktor diisi air, gas keluar, dan detektor gas di sekitar reaktor menunjukkan LEL 60%.

Reaktor telah disiapkan untuk perawatan dengan cara yang sama sebanyak tiga kali sebelum kejadian ini, tetapi lapisan butirannya di dalam reaktor sangat sedikit [14] (lihat Bagian 11.1 a dan b).

(e) Label harus dilaskan pada drum kosong. Karena drumnya baru, tidak ada peringatan khusus, dan tidak ada tes. Drum meledak, mematahkan kaki tukang las. Pembuat drum telah membersihkan drum dengan pelarut bisa-terbakar, gas tidak dibersihkan, dan tidak ada peringatan untuk para penggunanya [15].

(f) Tahun 1992, tangga pada beberapa tangki dilepas menggunakan obor oksiasetilena sehingga tangki bisa dipindahkan. Satu tangki kosong yang sebelumnya berisi etanol meledak, membunuh tiga orang. Uap etanol bocor melalui penyekat rusak pada lubang-periksa³¹ di atas tangki; uap terbakar oleh obor, dan api merambat balik ke dalam tangki. Mereka yang terbunuh telah membawa detektor gas ke tempat kerja, tapi tidak ada yang tahu apakah mereka telah menggunakan detektor secara benar atau apakah mereka sempat menggunakan detektor itu. Tes gas harus dilakukan oleh tim operasional sebelum mengeluarkan izin kerja; karena tangki harus bebas gas sebelum dipindahkan, maka bebas gas ini harus selesai dilakukan sebelum pekerjaan panas dimulai [27].

³⁰ Lower explosive limit (LEL)

³¹ Gauge hatch

(g) Pada unit perengkahan dengan unggun katalis terfluidakan, udara ditiupkan ke dalam tangki besar yang disebut regenerator untuk membakar karbon pada katalis. Regenerator diventilasi ke udara luar, sehingga tidak perlu dites atau dibuat inert sebelum perawatan. Namun, pada satu kejadian ketika tutup lubang-orang dibuka, 50 jam setelah unit dimatikan, ledakan terjadi dalam tangki, dan nyala muncul pada berbagai ujung terbuka yang terhubung dengan tangki.

Karbon biasanya dibakar sebelum unit dimatikan. Pada kejadian ini blower udara gagal, dan unit harus segera dimatikan. Kukus ditiupkan ke regenerator, dan sebagian besar katalis dipisahkan. Namun kukus bereaksi dengan karbon pada katalis tersisa, menghasilkan hidrogen dan karbon monoksida. Ketika tutup lubang-orang dibuka, dan udara masuk regenerator, maka ledakan terjadi. Sumber nyala adalah katalis panas, yang masih sekitar 600°C [33]. Regenerator lebih tua dilengkapi blower cadangan. Beberapa pabrik memasang blower mobil jika blower tunggal mereka gagal.

Kejadian ini menunjukkan pentingnya, pada tahap telaah bahaya dan kelayakan operasi³² (lihat Bab 18), untuk mempertimbangkan kondisi tidak normal, seperti kegagalan utilitas, sama seperti pertimbangan operasi normal.

1.3.2 Kondisi Bisa Berubah Setelah Tes

Seperti dibicarakan terdahulu, tes keberadaan gas atau uap bisa-terbakar biasa dilakukan dengan detektor gas sebelum pekerjaan perawatan dimulai, terutama pengelasan atau pekerjaan panas lain. Banyak kejadian terjadi karena tes dilakukan beberapa jam sebelumnya dan kemudian kondisinya berubah.

(a) Sepengggal jalur tua propilena tidak dipakai selama 12 tahun dan akan dimodifikasi untuk digunakan kembali. Selama dua tahun terakhir jalur telah dibuka pada salah satu ujungnya dan diselimuti³³ dari ujung yang lain. Pekerjaan pertama adalah pengelasan fleng diujung terbuka. Ini berlangsung tanpa kejadian. Pekerjaan kedua adalah memasang cabang 1-in. 60 m dari ujung terbuka. Lubang dibor pada pipa dan gas dalam pipa dites. Tidak ada gas terdeteksi. Untunglah, beberapa jam kemudian, hanya sesaat sebelum pengelasan dimulai, udara dalam gas dites lagi, dan gas bisa-terbakar terdeteksi. Diperkirakan sebagian gas yang tertinggal selama 12 tahun dan akibat kenaikan sedikit temperatur menyebabkan gas itu bergerak sepanjang pipa. Beberapa orang mungkin akan memutuskan tidak perlu melakukan tes karena pipa tidak digunakan selama 12 tahun. Untunglah, orang ini tidak mengambil kesimpulan itu. Mereka

³² Hazard and operability study (hazop)

³³ Blanked

mengetes udara dalam pipa dan mengetesnya ulang sesaat sebelum pengelasan dimulai.

- (b) Tes terhadap benzena dalam udara dilakukan delapan jam sebelum pekerjaan dimulai. Selama masa ini konsentrasi benzena naik.
- (c) Tangki asam dipersiapkan untuk pengelasan dan izin dikeluarkan. Tim perawatan tidak bisa memulai pekerjaan selama 40 hari. Selama waktu ini sejumlah kecil asam yang tertinggal dalam tangki menyerang logam, menghasilkan hidrogen. Tidak ada pengetesan lagi. Saat pengelasan dimulai, ledakan terjadi [6].
- (d) Cabang harus dilaskan pada sebuah pipa dekat permukaan tanah. Galian kecil, sedalam sekitar $\frac{1}{2}$ hingga 1 m, dibuat untuk memberi ruang di bawah pipa. Atmosfer dalam galian dites dengan detektor gas bisa-terbakar, dan karena tidak ada gas terdeteksi, izin pengelasan dikeluarkan. Setengah jam kemudian, setelah tukang las memulai pekerjaan, kebakaran kecil terjadi dalam galian. Sebagian hidrokarbon bocor ke tanah. Kejadian ini memperlihatkan tidak cukupnya pengetesan hanya sebelum pengelasan dimulai. Mungkin diperlukan tes terus-menerus dengan detektor gas bisa-terbakar beralarem.
- (e) Parit dari sebuah pabrik kimia dialirkan ke sungai. Dinding sungai dilapisi pelat baja, dan tukang las membakar lubang pada pelat, tepat di hilir aliran keluar parit, sehingga pelat bisa dilepas dengan kren.³⁴ Atmosfer dites terhadap gas bisa-terbakar sebelum pekerjaan dimulai. Setelah istirahat tukang las mulai lagi. Terjadi nyala api, yang tak berlangsung lama namun menewaskan sang tukang las. Pipa gas bawah tanah bocor, dan kemungkinan bocoran masuk ke sebuah lubang dan kemudian luber ke parit.

Bagian 11.5 memaparkan tragedi maut lain yang disebabkan bahan berbahaya dalam saluran buangan.

1.3.3 Bahaya Bisa Muncul dari Parit, Ventilasi, dan Bukaan Lain

Sejumlah kejadian terjadi karena gas atau uap keluar dari penguras atau ventilasi saat pekerjaan sedang berlangsung. Contoh:

- (a) Pengelasan dilakukan pada pipa 6 m di atas tanah. Tes dilakukan di dalam dan dekat pipa menunjukkan hasil negatif, sehingga izin kerja dikeluarkan. Secuil percikan las panas terlempar dan jatuh ke lubang parit 6 m di bawah dan 2,5 m ke samping. Tutup lubang memiliki celah, sehingga sebagian minyak di dalamnya terbakar. Pekerjaan las seharusnya diselubungi dengan kain tahan-api. Jika tidak, beberapa bara atau potongan logam bisa jatuh ke tanah. Maka parit dan lubang harus ditutup rapat.

³⁴ Crane

- (b) Saat tukang listrik memasang lampu baru pada dinding luar sebuah gedung, dia terpapar asap yang keluar dari saluran ventilasi sejauh 0,6 m darinya. Saat pekerjaan akan dilakukan, bahaya listrik telah diperhitungkan begitu juga bahaya bekerja dengan tangga. Namun tidak pernah terpikirkan oleh siapa pun bahwa asap berbahaya atau tak-mengenakkan mungkin keluar dari saluran. Kemudian sistem ventilasi dipasang untuk membuang asap dengan selamat.
- (c) Bahan radioaktif dipindahkan ke drum transportasi dengan kendali jarak jauh di dalam sel tertutup. Pemeriksaan menunjukkan tingkat radiasi di luar sel rendah, tapi tidak ada yang berpikir tentang atap. Beberapa tahun kemudian, seorang teknisi berjalan di pelat atap ketika pemindahan radioaktif berlangsung di bawahnya. Kebetulan dia membawa detektor radioaktif, dan ketika alat itu memberi alarm, dia segera lari. Radiasi di atap lebih besar dari 50 mSv/jam, dan teknisi itu terpapar sebanyak 1 mSv. (Komite Internasional tentang Proteksi Radiologikal³⁵ menganjurkan setiap orang untuk tidak terpapar lebih dari 50 mSv dalam setahun atau lebih dari 20 mSv/tahun (2 rem/tahun) secara rata-rata dalam lima tahun. Biasanya kebanyakan pekerja radiasi menerima jauh di bawah dosis ini.) Banyak kejadian serupa dilaporkan [34].

Tak banyak pembaca yang bekerja dengan bahan radioaktif, namun kejadian ini dan kejadian sebelumnya memperlihatkan betapa gampangya suatu jalur bahan atau hasil yang berbahaya keluar dari penampungnya tanpa diketahui.

1.3.4 Cairan Bisa Tertinggal dalam Jalur

Bila sebuah jalur dikuras atau ditiup, cairan mungkin tertinggal di bagian rendah dan keluar ketika jalur dibuka. Terutama akan sangat berbahaya bila jalur yang dibuka berada jauh di atas tanah. Cairan bisa muncrat ke tanah. Corong dan selang harus digunakan untuk menampung tumpahan.

Jika mungkin, titik penguras pada pipa harus dipasang pada titik rendah, dan pelat-sisip harus dipasang pada titik tinggi.

1.3.5 Jalur Layanan Mungkin Berisi Bahan Berbahaya

Bagian 1.1.4 memaparkan bagaimana asap masuk ke drum kukus karena tidak diisolasi sempurna. Meskipun jalur yang masih berjalan tidak langsung terhubung ke bahan proses, jalur harus selalu dites sebelum perawatan, terutama jika pekerjaan panas akan dilakukan, seperti kejadian berikut:

- (a) Jalur kukus dikuras dan dipotong “dingin.” Kemudian sumbat dipalukan ke dalam bukaan salah satu ujung. Tukang las menyalakan

³⁵ International Committee on Radiological Protection

alatnya untuk mengelas sumbat. Ledakan terjadi, dan sumbat mental, untunglah tidak mengenai si tukang las. Asam bocor ke dalam pipa melalui buluh pemanas yang dimakan karat di dalam tangki asam dan bereaksi dengan besi pada pipa kukus, menghasilkan hidrogen.

- (b) Ketika tukang las bekerja pada jalur air yang menuju ketel panas buangan,³⁶ gas keluar dari sambungan yang diputus dan terbakar. Biasanya, air bocor ke aliran proses. Namun saat pabrik mati, tekanan dibuang dari jalur air dulu baru kemudian dari sisi proses, maka arah bocor berbalik. Sisi air semestinya dijaga bertekanan hingga tekanan di sisi proses dibuang. Juga, bagian dalam jalur air harus dites dengan detektor gas bisa-terbakar.

Lihat juga Bagian 5.4.2 (b).

1.3.6 Tekanan Terjebak

Walaupun peralatan telah diisolasi dengan pelat-sisip dan tekanan sudah dibuang melalui keran atau dengan melonggarkan sambungan, tekanan mungkin masih terjebak di suatu bagian dalam peralatan, seperti ditunjukkan kejadian berikut:

- (a) Kejadian ini terjadi pada jalur dengan sambungan las semuanya. Keran dilaskan pada pipa. Untuk menghilangkan sumbatan, pekerja melepas bonet dan bagian dalam keran. Dia melihat dudukan³⁷ keran tersumbat oleh padatan dan mulai mengelupasnya. Saat dia melakukan ini, bahan kimia korosif bertekanan di bawah padatan itu menyembur bak jet, menyembrot mukanya, menghantam satu sisi pengaman mata,³⁸ dan masuk matanya.
- (b) Jalur tua asam sedang dipreteli. Sambungan pertama dibuka tanpa masalah. Namun ketika sambungan kedua dibuka, asam bertekanan menyembur dan menyembrot muka si tukang pipa³⁹ dan pembantunya. Asam telah menggerogoti pipa, dan menimbun tekanan gas pada beberapa bagian dan lumpur menjebaknyanya.
- (c) Sambungan pada jalur asam tersumbat dengan hati-hati dilepas, tapi hanya sedikit asam keluar. Beberapa baut lagi dilepas, dan sambungan direnggangkan, tidak ada lagi asam keluar. Ketika baut terakhir dilepas dan sambungan makin direnggangkan, tekanan lepas tiba-tiba menyemburkan asam ke muka si tukang pipa.

Pada ke tiga kasus, jalur telah diisolasi sempurna dari peralatan yang beroperasi. Izin kerja mengharuskan memakai pengaman mata dan dituliskan "Hati-hati tekanan terjebak."

³⁶ Waste heat boiler

³⁷ Seat

³⁸ Goggles

³⁹ Fitter

Untuk menghindari cedera karena hal seperti ini, kita harus menggunakan baju atau helmet penuh⁴⁰ saat melepas sambungan pada jalur yang mungkin berisi cairan korosif bertekanan terjebak, baik karena tekanan tidak bisa dibuang melalui keran maupun karena jalur mungkin berisi endapan padat.

Kejadian lain karena tekanan terjebak dan saat membersihkan sumbatan dibahas di Bagian 17.1 dan 17.2.

1.3.7 Peralatan Dikirim Keluar Pabrik

Ketika sepotong peralatan dikirim ke bengkel kerja atau ke perusahaan lain untuk diperbaiki atau dimodifikasi kita harus, jika mungkin, membersihkannya secara sempurna sebelum keluar pabrik. Kontraktor biasanya tidak akrab dengan bahan kimia dan tidak tahu cara bekerja dengan itu.

Terkadang, tidak mungkin untuk membersihkan sempurna sepotong peralatan tertentu, khususnya peralatan yang mengandung sisa minyak atau bahan yang terpolimer. Pada kasus ini, atau jika ada keraguan akan kebersihannya, maka peringatan bahaya dan hal-hal yang perlu diperhatikan harus diberitahukan ke bengkel kerja atau perusahaan lain. Ini bisa dilakukan dengan menempelkan sertifikat pada peralatan. Sertifikat ini bukan izin kerja. Ini tidak memberikan izin kerja apapun namun menjelaskan keadaan peralatan dan memberikan cukup keterangan ke perusahaan lain sehingga mereka bisa memperbaiki atau memodifikasi peralatan dengan selamat. Sebelum sertifikat dikeluarkan, insinyur yang bertugas harus membahas bagaimana cara yang dianjurkan itu dengan perusahaan lain tersebut. Jika masalahnya rumit, salah satu staf pabrik harus mengunjungi perusahaan itu. Kejadian berikut memperlihatkan perlunya peringatan ini.

- (a) Penukar panas⁴¹ besar, panjang 2,4 m kali 2,6 m diameter, dikirim ke perusahaan lain untuk penggantian buluh. Ada sekitar 800 buluh berdiameter 2½-in. dan termasuk sekitar 80 buluh telah disumbat. Buluh berisi bahan proses yang cenderung membuat sumbatan, dan sisi shellnya berisi kukus.

Sebelum penukar panas meninggalkan pabrik, buluh tak bersumbat dibersihkan dengan semprotan air bertekanan tinggi. Buluh bersumbat dibuka dengan membuat lubang bor 3/8-in pada sumbatnya dengan maksud melepaskan kemungkinan tekanan terjebak. Tapi lubang ini tidak cukup besar untuk melakukan pembersihan buluh.

Sertifikat ditempelkan pada penukar panas dengan menyatakan pengelasan dan pembakaran boleh dilakukan hanya di sisi shell. Kontraktor yang telah melepas hampir seluruh buluh, memutuskan

⁴⁰ Protective hoods or helmets

⁴¹ Heat exchanger

untuk memasukkan pekerjaanya ke dalam shell untuk menggerinda buluh tersumbat. Dia menelpon pabrik dan menanyakan apakah selamat membiarkan pekerja masuk ke shell. Dia tidak mengatakan kenapa dia ingin pekerjaanya masuk.

Insinyur pabrik yang menerima telepon mengatakan sisi shell bersih maka masuk ke sana akan selamat. Dia tidak tahu pekerja masuk untuk memotong beberapa buluh.

Dua pekerja masuk shell dan mulai menggerinda. Mereka terpapar asap, dan pekerjaan ditinggalkan hingga esok. Tiga pekerja lain mulai lagi pekerjaan ini dan mereka terpapar sangat hebat sehingga mereka harus masuk rumah sakit. Untunglah, mereka sembuh.

Sertifikat yang ditempelkan pada penukar panas saat meninggalkan pabrik berisi banyak keterangan. Seharusnya sertifikat juga berisi keterangan bahwa buluh tersumbat tidak dibersihkan dan berisi bahan kimia yang menghasilkan asap bila dipanaskan. Akan lebih baik jika buluh tersumbat itu dibuka dan dibersihkan. Kontraktor harus melepas sumbat, kenapa tidak dilepas sebelum meninggalkan pabrik?

- (b) Sedikitnya dua kebakaran serius titanium terjadi saat perusahaan pengolah buangan logam menggunakan obor untuk memotong penukar panas yang berisi buluh titanium [28]. Begitu titanium (titik leleh sekitar 1660°C) mencair, akan terbakar dengan udara. Titanium yang dibuang harus dilabel jelas dengan catatan peringatan.

Apakah instruksi di pabrikmu mencakup hal ini?