

## 2.11 MODIFIKASI DIBUAT UNTUK MENYEMPURNAKAN LINGKUNGAN KERJA

Modifikasi dilakukan untuk menyempurnakan lingkungan kerja terkadang menghasilkan bahaya tak terlihat [16]. Kita seharusnya, tentu saja, mencoba menyempurnakan tempat kerja, namun sebelum membuat satu perubahan kita harus coba melihat akibat yang mungkin tersembunyi, seperti dilukiskan dalam Bagian 2.12.

### 2.11.1 Ledakan di Rumah Kompresor

Sejumlah rumah kompresor dan bangunan lain hancur atau rusak parah, dan penghuninya terbunuh, ketika gas atau uap bisa-terbakar bocor. Dalam ruangan, sebuah gedung dapat hancur oleh ledakan akibat beberapa kilogram gas bisa-terbakar, tapi di luar ruangan, beberapa ton gas diperlukan untuk satu ledakan. Selama tahun 1960-an dan 1970-an, kebanyakan rumah kompresor dan bangunan baru lain di mana gas bisa-terbakar diolah dibangun tanpa dinding sehingga ventilasi alami dapat mengencerkan setiap bocoran yang terjadi; dinding bangunan yang sudah ada dirobohkan.

Tahun-tahun belakangan ini, banyak bangunan tertutup dibangun lagi untuk memenuhi peraturan baru kebisingan. Bangunan biasanya dibuat dengan ventilasi paksa,<sup>67</sup> namun kurang efektif dibandingkan ventilasi alami dan biasanya dirancang lebih untuk kenyamanan operator daripada untuk mengencerkan bocor.

Rambatan bising dari kompresor dapat dikurangi dengan cara lain, sebagai contoh, bungkus kompresor dengan insulasi kedap-suara. Semua celah antar kompresor dan insulasi harus disapu dengan udara.

Bocor yang menyebabkan ledakan di rumah kompresor sering bukan berasal dari kompresor tapi dari peralatan lain, seperti sambungan pipa. Salah satu kebocoran seperti ini terjadi karena gasket spiral-balut<sup>68</sup> diganti dengan gasket serat asbes tekan,<sup>69</sup> barangkali sebagai pengganti sementara sebagai akibat rusaknya gasket. Setelah terpasang, gasket selalu diganti berkali-kali dengan jenis yang sama [30].

Ledakan lain, yang membunuh seorang pekerja dan menghancurkan tiga kompresor gas alam dan rumah kompresornya, berawal ketika lima dari delapan baut yang menahan sebuah penutup jalur pintas pada keran isap mengalami kegagalan, sebagai akibat kelelahan bahan.<sup>70</sup> Baut dipasang terlalu kencang. Sistem berhenti darurat gagal beroperasi ketika gas terdeteksi dan juga gagal ketika usaha dilakukan untuk mengoperasikannya secara manual. Sistem berhenti darurat ini hanya dicek setahun sekali.

---

<sup>67</sup> Forced ventilation

<sup>68</sup> Spiral-wound gasket

<sup>69</sup> Compressed asbestos fiber (caf) gasket

<sup>70</sup> Fatigue

Sumber pemantik api diperkirakan dari peralatan listrik di mesin gas yang menggerakkan kompresor itu [31].

Tahun belakangan ini tumbuh pesat sejumlah pabrik dengan paduan panas dan listrik (CHP)<sup>71</sup> dan paduan turbin gas siklus (CCGT),<sup>72</sup> yang digerakkan terutama oleh turbin gas menggunakan gas alam, terkadang dengan bahan bakar cair cadangan. Pemerintah mendorong pembangunan pabrik seperti ini, karena efisiensinya tinggi dan menghasilkan sedikit karbon dioksida dibandingkan stasiun listrik pembakar minyak biasa. Namun, peralatan ini memiliki beberapa bahaya, karena turbin gas bising maka biasanya selalu tertutup.

Tambahan lagi, peralatan ini biasanya dibangun tanpa keran isolasi pada jalur pasokan bahan bakarnya. Akibatnya sambungan terakhir pada jaringan perpipaan tak bisa dites kebocoran. Biasanya, kebocoran dites sedapat mungkin di bengkel pembuat namun biasanya tidak dites kebocoran di pabrik. Rujukan 32 menelaah kebocoran gas yang terjadi, termasuk sebuah ledakan besar di pabrik CCGT Inggris Raya tahun 1996 karena kebocoran nafta dari sambungan pipa. Seorang terluka berat, dan 600 m<sup>3</sup> bejana terbang. Rujukan ini juga menelaah persiapan keselamatan yang harus dilakukan. Persiapan termasuk pemilihan tempat di mana penurunan kebisingan tak diperlukan atau dapat dilakukan tanpa ruangan tertutup. Jika ruang tertutup harus dilakukan, maka ventilasi berlaju tinggi diperlukan; Ventilasi biasanya dirancang untuk menjaga turbin tetap dingin sehingga terlalu rendah untuk pengenceran gas bocor. Perhatian harus dilakukan untuk menghindari kantong udara terjebak.

Sebuah reaksi terkadang berlangsung tak terkendali dan melepaskan uap melalui ventilasi masuk ke bangunan sekitarnya. Uapnya bisa mencair membentuk kabut yang bisa-terbakar. Kabut tak pernah diketahui bisa terpantik api, namun perusahaan mengeluarkan anjuran kuat tapi tak mengikat bahwa dinding bangunan seperti ini harus dibongkar. Satu pabrik memutuskan tak mengikuti anjuran itu. Akhirnya hampir seluruh dinding itu lenyap oleh satu ledakan. Sumber pemantik ledakan tak pernah ditemukan [33].

### 2.11.2 Aerosol dan Penggunaan Lain CFC

Pada tahun 1980-an, diketahui bahwa klorofluorokarbon (CFC), yang banyak digunakan sebagai penekan (propelan) aerosol, merusak lapisan ozon, dan pembuat aerosol diminta memakai propelan lain. Beberapa pembuat telah memakai butana, bahan yang lebih murah, dan pembuat lain mulai menggunakannya. Akibatnya adalah serangkaian kebakaran dan ledakan.

---

<sup>71</sup> Combined heat and power

<sup>72</sup> Combined cycle gas turbine

Perubahan dilakukan begitu cepat dengan sedikit pertimbangan akan bahaya terkait dengan butana. Laporan dari beberapa kebakaran yang terjadi mengatakan bahwa bahaya ini tidak dipahami dan persiapan keselamatan minimumnya tak ada. Satu perusahaan Inggris Raya dituntut karena gagal melatih pegawainya tentang bahaya butana, tentang prosedur evakuasi kebakaran, dan tentang prosedur berhenti darurat. Semua ini, tentu saja, tak diperlukan atau kurang diperlukan bila CFC digunakan. Setelah kebakaran ini, inspektur pabrik mengunjungi pabrik aerosol lain dan mendapati banyak yang harus diperbaiki. Pembuat mesin pengisi menyetujui untuk merubah mesinnya sehingga bisa dipakai untuk menangani butana. Nyata sekali, hal ini tak dipertimbangkan sebelumnya.

CFC banyak digunakan sebagai pelarut pembersih, karena bahan ini tak bisa-terbakar dan tingkat racunnya rendah. Sekarang, pelarut terbakar kembali lagi digunakan. Salah satu pembuat produk pelarut ini menuliskan "Suatu proses pembersih baru ramah-ozon untuk industri elektronik," yang "menggunakan formula unik hidrokarbon-alkohol." Label tak memperingatkan pemakai bahwa campuran ini berisi bahan bisa-terbakar dan pemakai harus memastikan bahwa peralatan dan prosedur mereka cocok.

Bromoklorofluorokarbon (BCF atau halon) luas digunakan sebagai pemadam kebakaran. Bahan ini dianggap bahan kimia ajaib saat pertama kali digunakan, namun pembuatnya harus menghentikannya sekarang, meskipun persediaannya yang sudah tersimpan mungkin masih digunakan. Pilihan bahan lain, meskipun kurang efektif, seperti hidrokarbon terfluoronasi sudah tersedia. Mari berharap semoga kita tak kembali menggunakan karbon dioksida sebagai perlindungan otomatis ruangan yang berisi peralatan listrik. Jika karbon dioksida tak sengaja keluar saat seseorang di ruangan, mereka akan kesulitan bernafas,<sup>73</sup> sedangkan keluaran tak sengaja halon tak akan menyebabkan cedera serius. Tentu saja, prosedur mengharuskan pasokan karbon dioksida harus diisolasi sebelum seseorang masuk ruangan itu, namun prosedur sudah terbukti sering dilanggar.

Tangki klorina cair dijaga dingin dengan sistem pendinginan menggunakan CFC. Tahun 1976 manajemen lokal memutuskan menggantinya dengan amonia. Manajemen tak mengetahui bahwa amonia dan klorina bereaksi membentuk nitrogen triklorida yang membentuk bahan eksplosif nitrogen triklorida. Sebagian amonia bocor ke dalam klorina, dan nitrogen triklorida yang terbentuk meledak dalam sebuah pipa yang dihubungkan ke tangki; enam orang terbunuh, namun laporan tak menyebutkan mereka terbunuh oleh ledakan atau oleh klorina.

### **2.11.3 Sistem Ventilasi**

Pada tahun 1970-an dan 1980-an tekanan semakin meningkat untuk menyalurkan keluaran ventilasi tangki, pada pengisian bensin, dsb., untuk

---

<sup>73</sup> Asphyxiated

dimusnahkan atau diserap, bukan hanya dibuang begitu saja ke atmosfer, terutama di daerah yang mengalami kabut fotokimia.<sup>74</sup> Laporan tahun 1976 melaporkan sistem pengambilan bensin dipasang di daerah San Diego, lebih dari 20 kebakaran terjadi dalam empat bulan. Saat itu, masalah keluaran gas terselesaikan, namun kelihatannya sistem pengambilan ini diperkenalkan terlalu cepat tanpa pengetesan memadai.

Karena sistem penampungan ventilasi berisi campuran uap/udara, campuran itu dengan sendirinya tak selamat. Sistem biasanya beroperasi di luar rentang terbakar, dan persiapan keselamatan telah dilakukan untuk mencegah sistem masuk rentang ini, namun sulit mencegah segala sesuatu yang mungkin berjalan salah. Sebagai contoh, ledakan terjadi di sistem yang menampung udara dan uap terbakar dari ventilasi sejumlah tangki dan menyalurkan campuran itu ke tungku. Sistem dirancang berjalan pada batas ledakan bawah 10%, namun bila sistem salah diisolasi, konsentrasi uap meningkat. Saat aliran dibuka kembali, gas pekat dialirkan ke tungku, di mana uap bercampur dengan udara dan meledak [17]. Rujukan 34 memaparkan 10 kecelakaan lain.

Pada kejadian lain pembakaran produk buangan di tungku untuk menghemat bahan bakar dan mengurangi pencemaran menyebabkan korosi dan kegagalan buluh.

Kebakaran fasilitas tangki penyimpanan curah di Pulau Coode, Melbourne, Australia, Agustus 1991 menyebabkan kerusakan luas dan banyak keluhan terhadap pencemaran yang diakibatkan awan asap, meskipun tak ada yang terluka. Ventilasi-ventilasi tangki saling dihubungkan dan dialirkan ke sistem pengambilan uap unggun karbon. Tak ada penyekat-nyala<sup>75</sup> pada perpipaan. Apa pun penyebab kebakaran atau ledakan awal, sistem pengumpulan ventilasi ini memberikan tempat untuk tersebarnya api dari satu tangki ke tangki lain.

Di masa lalu sulit mencegah ledakan menyebar melalui sistem ventilasi, karena penyekat nyala hanya efektif bila dipasang pada ujung pipa. Penyekat ledakan yang efektif di jalur pipa sekarang sudah tersedia. Seperti semua penyekat nyala, tentu saja, penyekat ledakan memerlukan pembersihan rutin, sesuatu yang sering diabaikan. Pada kasus lain, bila tangki diisi terlalu penuh, cairan mencemari tangki lain melalui sistem ventilasi, dan ini mengakibatkan reaksi-lepas.<sup>76</sup>

Unggun karbon sering digunakan untuk menyerap uap pada sistem ventilasi tetapi penyerapan ini menghasilkan panas, dan unggun mungkin terbakar, terutama jika digunakan untuk menyerap keton, aldehida organik, asam dan senyawa sulfur organik. Rujukan 35-37 menjelaskan beberapa kebakaran dan cara menghindarinya.

Tahun 1984, ledakan di stasiun pompa air di Abbeystead, Inggris Raya, membunuh 16 orang, kebanyakan adalah penduduk setempat yang sedang

---

<sup>74</sup> Photochemical smog

<sup>75</sup> Flame arrestor

<sup>76</sup> Runaway reaction

berkunjung ke pabrik. Air dipompa dari satu sungai ke sungai lain melalui saluran air bawah tanah. Saat pompa berhenti, sebagian air dikuras dari saluran dan meninggalkan saluran kosong. Metana dari bebatuan di dasar saluran mengisi saluran kosong ini dan, saat pemompaan dimulai lagi, metana terdorong ke keran ventilasi ke rumah pompa, di sinilah ledakan terjadi [18].

Aneh sekali bahwa ventilasi disalurkan ke dalam rumah pompa bawah tanah. Kelihatannya ini dilakukan karena pemerintah daerah tak mengizinkan ventilasi yang bisa merusak pemandangan.

Pabrik kecil di daerah pemukiman Inggris Raya mengolah pelarut secara distilasi. Air pendingin memasok peralatan pengembun, setelah mengalami kerusakan beberapa minggu, akhirnya sama sekali gagal, dan uap panas keluar ventilasi menuju suatu gedung. Meledak, membunuh satu orang, melukai lainnya, dan pabrik rusak. Beberapa rumah tetangganya sedikit rusak, dan lima drum melanting ke luar pabrik, satu mendarat di rumah.

Tak ada perintah operasi atau perintah darurat dan tak ada penunjuk aliran air pendingin, dan drum disimpan terlalu dekat bangunan. Namun, dari semua ini, kesalahan paling besar adalah pipa ventilasi disalurkan ke dalam bangunan. Jika keluaran disalurkan keluar, uap akan terencerkan tanpa bahaya, atau kemungkinan terburuk, mungkin ada api kecil di ujung pipa ventilasi. Pipa ventilasi dirancang untuk ventilasi, jadi ini bukan bocor tak terduga. Pipa ventilasi mungkin dibiarkan di ruangan untuk mencoba memperkecil bau yang menimbulkan keluhan [19].

Semakin banyak di dunia industri usaha untuk menyatukan bagian keselamatan, kesehatan dan lingkungan menjadi hanya satu departemen SHE.<sup>77</sup> Ini akan banyak menolong menghindari kecelakaan seperti diceritakan di Bagian 2.11. Sayangnya, hanya sedikit tanda-tanda perpaduan serupa dilakukan di departemen pemerintahan.

---

<sup>77</sup> Safety, Health and Environment