

3.2 KEJADIAN KARENA KELENGAHAN BIASA. UNTUK MENCEGAHNYA KITA HARUS MERUBAH RANCANGAN PABRIK ATAU CARA KERJA.

3.2.1 “Tak Ada yang Salah Dengan Rancangan. Peralatan Tak Dirakit Dengan Benar.”

Seberapa sering kita mendengarkan kalimat ini dari si perancang setelah suatu peralatan gagal? Si perancang biasanya benar, namun bila memungkinkan kita seharusnya merancang sesuatu yang tak mungkin (atau sulit) dirakit dengan tak benar atau yang sangat tak mungkin untuk gagal meskipun dirakit tak benar. Sebagai contoh:

- (a) Pada beberapa kompresor sangat mungkin untuk tertukarnya keran isap dengan keran keluaran. Rusak dan bocor adalah akibatnya. Keran-keran ini seharusnya dirancang sehingga tak bisa ditukar.
- (b) Karena begitu banyak jenis kopleng-ulir⁷⁹ dan kopleng-kompresi, maka akan mudah terjadi penggunaan cincin yang salah. Kecelakaan terjadi sebagai akibatnya. Pipa fleng atau las harus digunakan kecuali pada pipa kecil yang mengalirkan bahan tak berbahaya.
- (c) Fleng-lepas⁸⁰ memerlukan perhatian lebih besar saat pembuatan sambungan dibandingkan fleng-tetap. Maka dianjurkan memakai fleng-tetap.
- (d) Below (sambungan pemuai) harus dipasang dengan perhatian lebih besar, karena below tidak dapat menahan tekanan dari segala arah, kecuali yang dirancang khusus. Pada bahan berbahaya, penggunaan below sebaiknya diganti dengan merancang belokan pemuai pada sistem perpipaan.
- (e) Reaksi-lepas terjadi pada reaktor polimerisasi. Disket-pecah gagal untuk pecah. Disket penopang vakumnya dipasang terbalik, jadi tekanan-pecahnya naik dari tekanan gauge 10 bar (150 psi) menjadi sekitar 27 bar (400 psi) (Gambar 3-1 a dan 3-1 b).

Polimer muncrat melalui beberapa sambungan fleng sehingga seperti membentuk selimut permen serat. Reaktor dilengkapi fleng kelas 150. Jika fleng kelebihan tekanan, bautnya akan melar, dan fleng akan bocor, maka ini menghindarkan bejana dari pecah (karena tekanan tidak naik terlalu cepat). Namun ini mungkin tak akan terjadi pada fleng dengan tingkat tekanan lebih tinggi.

Cara terbaik mencegah kejadian seperti ini adalah dengan menggunakan disket-pecah yang sulit untuk dipasang tak benar dan yang dapat dicek akan kebenaran posisinya setelah terpasang. Sangat mungkin mendapatkan disket yang dilengkapi secara permanen dengan penopang vakumnya dari si pembuat dan

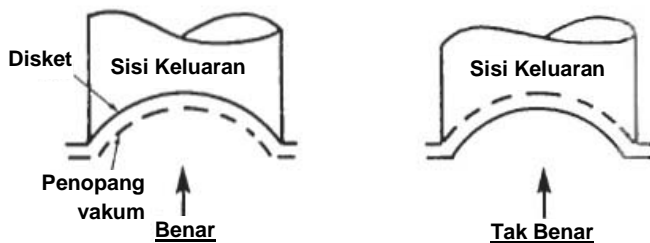
⁷⁹ Screwed coupling

⁸⁰ Loose-backing flanges

dilengkapi dengan label, yang bertuliskan *sisi ventilasi* pada satu sisinya. Label ini juga harus bertuliskan tingkat tekanan.

Disket-pecah kecil gagal bekerja; didapati kemudian bahwa pembuat tak sengaja memasok dua disket bertumpuk satu di atas yang lain dan kelihatan seperti hanya satu disket. Kebanyakan disket dikotaki sendiri-sendiri, namun beberapa dipasok bertumpukan dan harus diperiksa teliti. Beberapa disket kecil dipasok dengan gasket telah dilemkan pada disket, dan ini terkadang menyebabkan beberapa disket saling menempel.

(Lihat Bagian 5.3 g dan Bagian 9.1.3.)



Gambar 3-1 a. Rakitan disket-pecah dan penopang vakum.



Gambar 3-1 b. Karena disket-pecah yang penopang vakumnya dipasang terbalik, maka terjadilah fleng bocor sehingga menyelimuti reaktor dengan “permen.”

3.2.2 Salah Keran Dibuka

Pompa pengumpan aliran minyak ke buluh sebuah tungku mengalami kegagalan. Operator menutup keran minyak dan bermaksud membuka keran kukus untuk menyapu buluh tungku. Dia membuka keran salah, tak ada aliran ke tungku, dan buluh kepanasan dan rusak.

Kecelakaan ini pada awalnya dianggap sebagai kesalahan manusia, operator melakukan kesalahan, dan tak ada orang lain yang perlu disalahkan. Penyelidikan kecelakaan menunjukkan bahwa:

1. Keran kukus sulit dijangkau, dan sangat sulit melihat mana keran yang benar.
2. Tak ada penunjuk di ruang kendali untuk memberitahukan tidak adanya aliran melalui buluh tungku.
3. Tak ada alarem atau sistem-mati bila aliran rendah pada tungku.

3.2.3 Anda Akan Memanjat Pipa atau Berjalan 90 m?

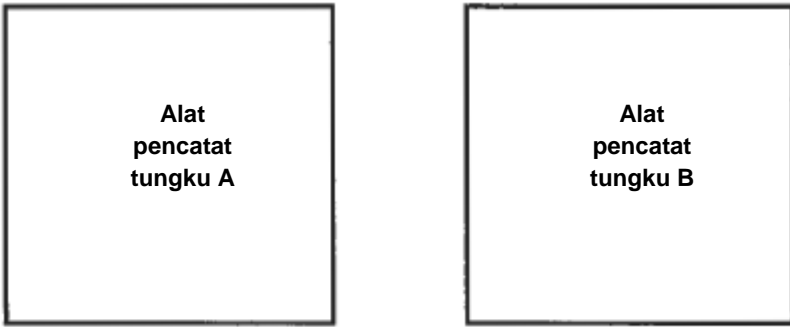
Untuk perbaikan meteran aliran, seseorang harus berjalan enam kali bolak-balik dari pelat-berlubang⁸¹ ke transmiter. Untuk berjalan dari satu tempat ke tempat lain itu, dia harus menempuh jarak 45 m, sepanjang pipa berdiameter 30-in kemudian meniti jembatan kecil, dan berjalan balik 45 m, total 540 m selama pekerjaan itu. Oleh karena itu, dia memanjat pipa; saat memanjat ini tulang belakangnya cedera.

Masuk akalkah mengharapkan seseorang berjalan 90 m berulang-ulang dan tidak memanjat pipa sebagai jalan pintas?

3.2.4 Kesalahan Saat Mengetes Sistem-mati Peralatan

Dua tungku masing-masing dilengkapi pencatat pengendali temperatur dan sistem-mati temperatur-tinggi. Kedua pencatat berdampingan pada panel instrumentasi di ruang kendali, dengan pencatat untuk tungku A di sebelah kiri (Gambar 3-2).

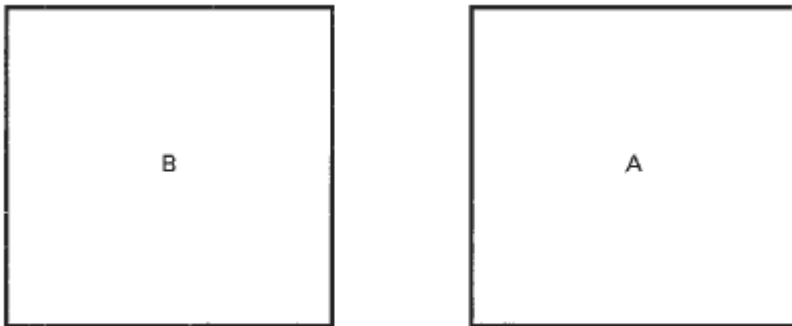
⁸¹ Orifice plate



Gambar 3-2. Tata letak panel pencatat.

Seorang mekanik instrumen diminta mengetes sistem-mati pada tungku A. Dia pasang pengendali pada posisi manual dan kemudian pergi ke belakang panel. Tahap selanjutnya dia harus melepas penutup belakang pengendali, melepas kabel, memasukkan bertahap tegangan listrik melalui potensiometer, dan mencatat pada titik berapa sistem-mati terjadi jika pengendali pada posisi otomatis.

Sang mekanik, yang telah melakukan ini berkali-kali sebelumnya, melepas penutup belakang pencatat B, yaitu yang di sebelah kirinya bila dilihat dari belakang (Gambar 3-3), dan melepas satu kabel. Akibatnya sama seperti jika pencatat membaca signal temperatur tinggi. Pengendali menutup keran bahan bakar gas, mematikan tungku dan keseluruhan pabrik.



Gambar 3-3. Tata letak pencatat di panel belakang.

Kita semua tahu bahwa pencatat ada di kiri, dilihat dari depan panel, menjadi di sebelah kanan bila dilihat dari belakang panel, namun sang mekanik selalu mengingatkannya “yang sebelah kiri.”

Bagian belakang panel harus diberi label A dan B dengan tulisan besar. Akan lebih baik, sambungan potensiometer dibuat di bagian depan panel.

3.2.5 Daftar Perintah yang Buruk

Satu adonan salah. Penyelidikan memperlihatkan operator salah memasukkan 104 kg suatu bahan bukannya 104 g (0,104 kg).

Perintah ke operator diberikan seperti diperlihatkan pada Tabel 3-1 (nama bahan telah diubah):

Dengan perintah seperti ini, sangat gampang membuat operator bingung.

Tabel 3-1
Perintah ke Operator

Bahan untuk Campuran	Jumlah (ton)
Marmalade	3,75
Sup Buntut	0,250
Merica	0,104 kg
Kacang bakar	0,020
Selai strawberri	0,006
TOTAL	4,026

3.2.6 Membaca Tak Tepat, Tidak Memperhatikan Instrumen yang Terletak Setinggi Paha

Reaktor sedang startup. Reaktor diisi campuran reaksi dari reaktor lain, yang sudah berjalan, dan operator panel mulai menambahkan umpan segar, secara bertahap menaikkan aliran sambil memperhatikan temperatur pada pencatat yang terletak setinggi mata. Dia bermaksud memulai aliran air pendingin untuk mendinginkan reaksi begitu temperatur mulai naik, cara yang biasa.

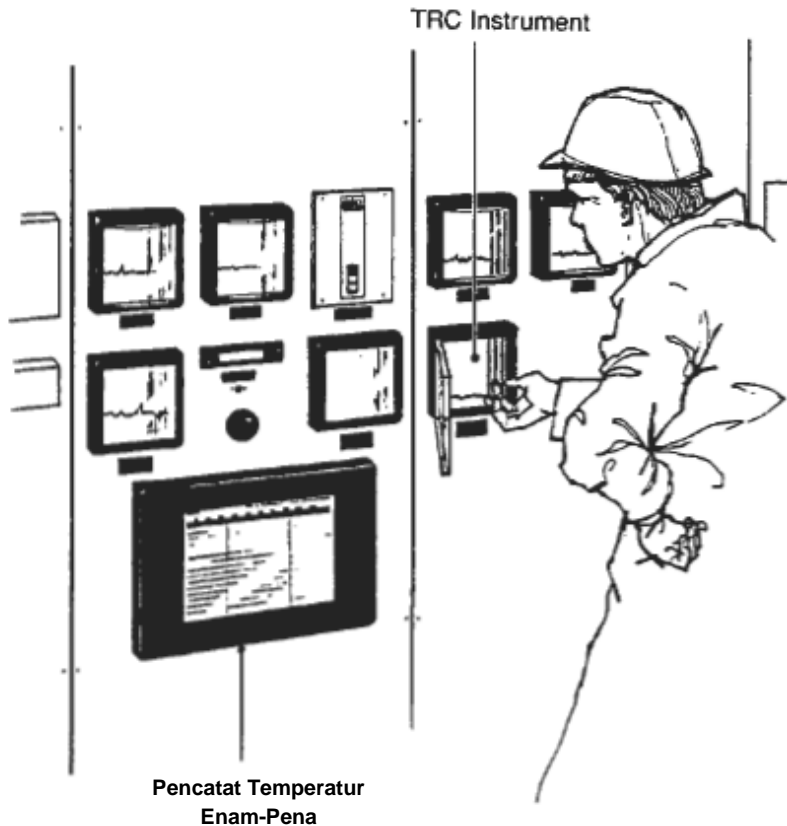
Sayangnya, ada kerusakan pada pencatat temperatur, dan meskipun temperatur sebenarnya naik, tapi ini tak terlihat. Akibatnya: reaksi-lepas.

Kenaikan temperatur sebenarnya terlihat pada pencatat temperatur enam-pena di bagian bawah panel, namun operator tak memperhatikannya (Gambar 3-4).

Yang menarik dari kejadian ini adalah tak seorang pun menyalahkan operator. Manajer mengatakan dia mungkin akan melakukan kesalahan sama karena instrumen yang tak rusak terletak di bagian bawah (sekitar 1 m dari lantai) dan karena perubahan temperatur pada pencatat enam-pena terletak di tempat yang tak mudah dilihat kecuali jika anda memang sengaja ingin melihatnya. Instrument ini bukanlah sesuatu yang akan mudah terlihat oleh mata anda.

3.2.7 Menutup Keran Salah

- (a) Gambar 3-5 memperlihatkan sebagian pabrik dengan lima reaktor paralel. Ada dua jalur umpan-gas dengan penghubung silang di antaranya. Oksigen juga diumpankan ke reaktor, tapi jalur oksigen tidak diperlihatkan. Pada saat kecelakaan hanya dua reaktor berjalan, No. 1 dan 4.

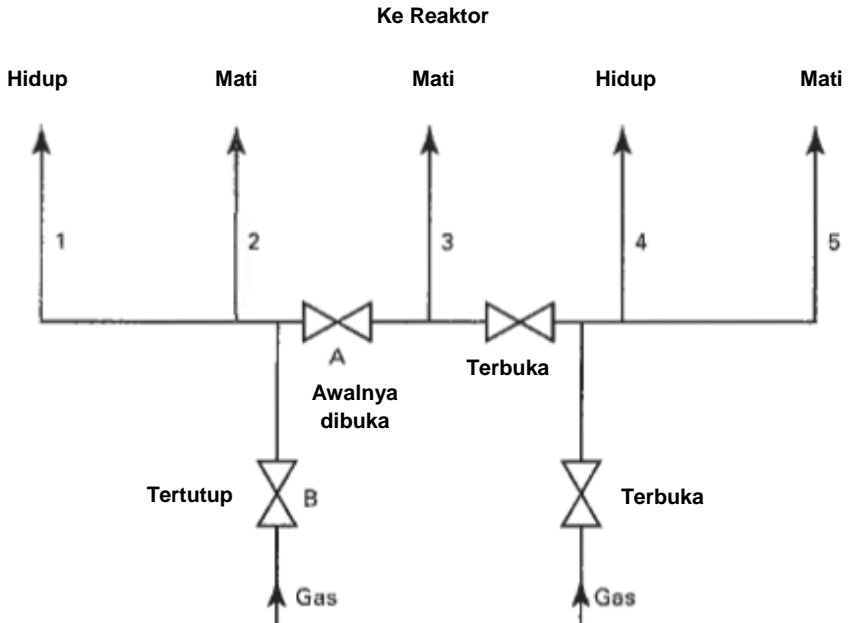


Gambar 3-4. Instrumentasi di bawah ketinggian mata mungkin tak akan diperhatikan.

Operator mengira keran B terbuka, sehingga dia menutup keran A. Ini menghentikan aliran gas ke reaktor No. 1. Aliran oksigen dikendalikan oleh pengendali rasio, tapi pengendali ini memiliki kesalahan-nol,⁸² sehingga sedikit aliran oksigen berlanjut.

Ketika operator menyadari kesalahannya dan membuka lagi aliran gas, reaktor terisi oksigen berlebih, dan ledakanpun terjadi, sebenarnya tidak dalam reaktor tetapi di ketel panas gas buangan di hilir. Empat orang terbunuh.

⁸² Zero error



Gambar 3-5. Penutupan tak sengaja satu keran bisa menyebabkan ledakan.

Di sini kita melihat keadaan yang memungkinkan kesalahan sederhana oleh seorang operator akan menyebabkan akibat serius. Bagaimanapun, ledakan ini bukan kesalahan operator tapi sebagai akibat rancangan buruk dan tiadanya peralatan pelindung.

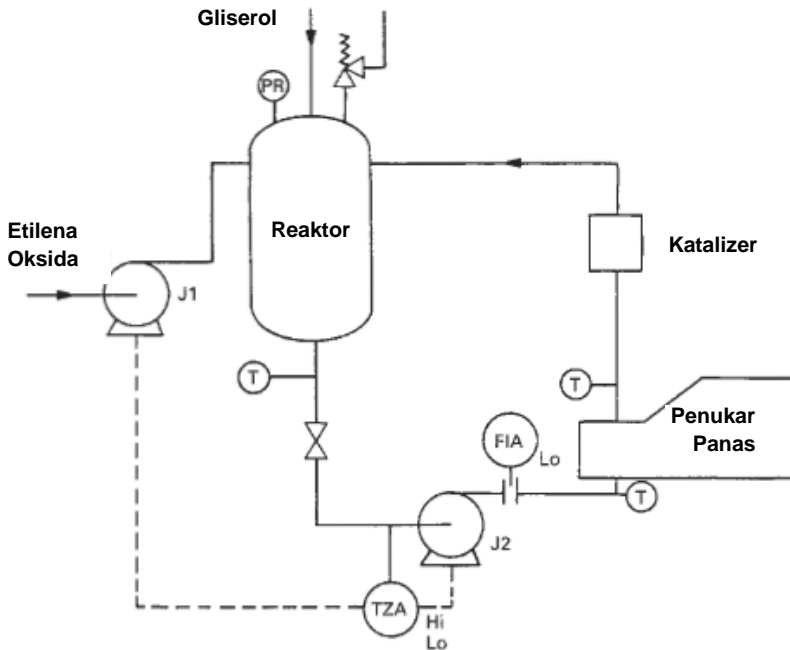
Kita semestinya tidak pernah membolehkan adanya keadaan di mana operasi tak sengaja pada sebuah keran menyebabkan tekanan berlebihan pada bejana. Kita harus memasang keran pelepas. Dengan jalan pikiran serupa, operasi tak sengaja sebuah keran tidak boleh menyebabkan suatu ledakan atau reaksi-lepas.

- (b) Suatu switch pasokan listrik ke sistem peralatan saling-kunci keselamatan biasa dikunci pada posisi tertutup, meskipun dalam keadaan pabrik mati, untuk mencegah isolasi tak sengaja. Suatu hari seorang operator diminta mengunci switch ini pada posisi terbuka. Dia terbiasa melihat kunci switch ini pada posisi tertutup, maka kali ini dia salah memposisikan kunci. Merubah kebiasaan sangatlah sulit. Operator lain yang diminta memeriksa tak melihat kesalahan ini. Seperti pada Bagian 1.2.3 (e) dan 14.5 (c), pengecekan sering tidak efektif, karena pemeriksa selalu berpraduga segalanya akan benar. Menurut laporan [7] operator itu kemudian dihukum, namun ini tak akan mencegah kecelakaan lain, karena kesalahan terjadi bukanlah karena kesengajaan. Cara yang lebih baik adalah dengan menggunakan kunci yang hanya dapat dilepas bila switch pada posisi tertentu.

Kecelakaan ini terjadi di stasiun listrik tenaga nuklir namun bisa mudah terjadi di industri proses.

3.2.8 Ledakan di Reaktor Batch

Gambar 3-6 memperlihatkan sistem reaksi batch. Sejumlah gliserol dimasukkan ke reaktor dan disirkulasi melalui sebuah penukar panas, yang bertindak baik sebagai pemanas dan juga sebagai pendingin, dan bila temperatur mencapai 115°C , tambahan etilena oksida dimulai. Reaksinya eksotermik, dan penukar panas saat ini digunakan sebagai pendingin.



Gambar 3-6. Pemasangan sistem sirkulasi reaktor.

Pompa etilena oksida tak bisa dijalankan kecuali jika:

1. Pompa sirkulasi berjalan.
2. Temperatur di atas 115°C , karena jika tidak maka etilena oksida tak akan bereaksi.
3. Temperatur di bawah 125°C , karena kalau tidak reaksi akan menjadi terlalu cepat.

Meskipun ada sistem ini, ledakan tetap terjadi. Suatu hari, ketika penambahan etilena oksida dimulai, tekanan di reaktor naik. Ini menunjukkan bahwa etilena oksida tak bereaksi. Karena temperatur masih rendah maka operator berkesimpulan mungkin sedikit lagi panas diperlukan

untuk memulai reaksi, maka dia mengubah pengatur panas untuk tak berfungsi dan membiarkan temperatur naik hingga 200°C. Tekanan masih tidak turun.

Dia kemudian menduga bahwa teorinya mungkin salah. Mungkinkah dia lupa membuka keran di dasar reaktor? Dia dapati keran itu memang tertutup dan dia segera membukanya. Tiga ton etilena oksida belum bereaksi; bersama dengan gliserol, melewati pemanas dan katalizer, dan reaksi liar, tak terkendali terjadi. Reaktor pecah, dan gas yang keluar meledak. Dua orang terluka. Satu orang, 160 m jauhnya, karena terhantam bongkahan terbang, dan yang lainnya terpeental ke atas truk tangki.

Meskipun temperatur untuk sistem saling-kunci naik, temperatur isi tidak naik. Pompa J2, berjalan dengan keran tertutup, dan menjadi panas, dan panas ini mempengaruhi temperatur untuk sistem saling-kunci, yang berada dekat dengan pompa.

Kenapa ini terjadi?

1. Penyebab langsung ledakan adalah operator lupa membuka keran. Ini bukan karena kurangnya pengetahuan, pelatihan, atau perintah tetapi ini adalah kelengahan biasa yang mungkin dilakukan oleh seseorang meskipun dia terlatih baik, bekerja dengan baik, atau orang yang berpengetahuan.
2. Jika operator tidak begitu saja membuka keran saat dia mendapatinya masih tertutup, ledakan dapat dihindarkan. Namun, sulit untuk menyalahkannya. Tindakannya adalah naluri. Apa yang akan anda lakukan jika mendapati sesuatu belum dilakukan, padahal itu seharusnya telah dilakukan?
3. Ledakan ini karena gagal memperhatikan tanda-tanda peringatan. Tekanan tinggi di reaktor adalah peringatan awal, namun operator punya teori lain untuk menjelaskan ini. Dia terpaku pada teori ini hingga kenyataan menunjukkan hal lain. Ini dikenal dengan *mind-set* atau *tunnel vision (terjebak pikiran sendiri)*.

Penunjuk temperatur lain akan membantu operator mendiagnosa masalah. Tapi dia tak melihatnya. Dia mungkin berpikir tak ada alasan untuk melihat temperatur lain itu. Semua penunjuk temperatur menunjukkan temperatur sama. Perlunya membandingkan suatu penunjuk dengan penunjuk lain harus dilakukan dalam pelatihan operator.

4. Ledakan terjadi karena gagal melakukan pengukuran sesuatu yang seharusnya diukur. Temperatur untuk sistem saling-kunci bukan mengukur temperatur dalam reaktor tetapi mengukur temperatur dekat pompa. Temperatur ini menjadi panas karena pompa berjalan dengan keran isap tertutup. Demikian juga, pemicu sistem stop dipasang pada J2, yang menunjukkan motor telah dialiri listrik. Ini tak menjamin bahwa selalu ada cukup aliran.

5. Ledakan terjadi karena instrumen penting tidak dalam keadaan baik. Penunjuk aliran dan alarem aliran rendah (FIA) tak bekerja. Penunjuk ini sering rusak, dan operator mengetahui bahwa pabrik dapat dioperasikan meskipun tanpa penunjuk ini. Jika tak ada aliran, mereka pikir, J2 mestilah mati, dan ini akan mematikan J1.
6. Operator seharusnya tidak menaikkan pengatur sistem saling-kunci, meskipun ini bukan menjadi penyebab ledakan. (Namun, dia telah mencoba menggunakan kepintarannya dan berpikir kenapa reaksi tidak terjadi. Sayangnya, dia salah.)

Apa yang harus kita lakukan?

Tak ada gunanya mengatakan ke operator untuk lebih hati-hati. Kita harus mengetahui bahwa kemungkinan kesalahan, lupa membuka keran, adalah biasa terjadi di tempat kerja. Jika kita ingin mencegah kesalahan, kita harus merubah tempat kerja. Yaitu, merubah rancangan dan/atau cara kerja, peranti keras dan/atau peranti lunak.

Laporan itu menyalahkan operator sebagai penyebab ledakan. Sesungguhnya kesalahan tak membuka keran itu mungkin dapat terlihat segera.

1. Temperatur harus diukur dalam reaktor atau sedekat mungkin dengan reaktor. Kita harus selalu mencoba mengukur sesuatu yang ingin kita ketahui secara langsung, bukannya mengukur yang lainnya dan kemudian dipakai sebagai perkiraan tentang sesuatu yang ingin kita ketahui.
Perancang menganggap temperatur dekat pompa akan sama dengan di reaktor. Ini tak akan sama jika tak ada sirkulasi.
Perancang menganggap bahwa jika pompa beraliran listrik, maka cairan disirkulasi, namun ini tak selalu terjadi.
2. Operator seharusnya tak diizinkan merubah pengatur sistem-mati. Temperatur berbeda diperlukan untuk batch berbeda. Meskipun begitu, perubahan ini hanya bisa dilakukan oleh seseorang yang diberi izin tertulis untuk merubahnya.
3. Lebih banyak perhatian harus dilakukan untuk menjaga alarem penunjuk aliran berjalan normal.
4. Sistem-mati karena tekanan-tinggi harus dipasang di reaktor.
5. Operator harus dilatih bagaimana harus bertindak "melompat balik" bila mereka mendapati keran pada posisi salah. Lihat juga Bagian 3.3.5 (a). Kejadian lain yang terjadi karena operator gagal melakukan tugas sederhana diceritakan di Bagian 13.5 dan 17.1.