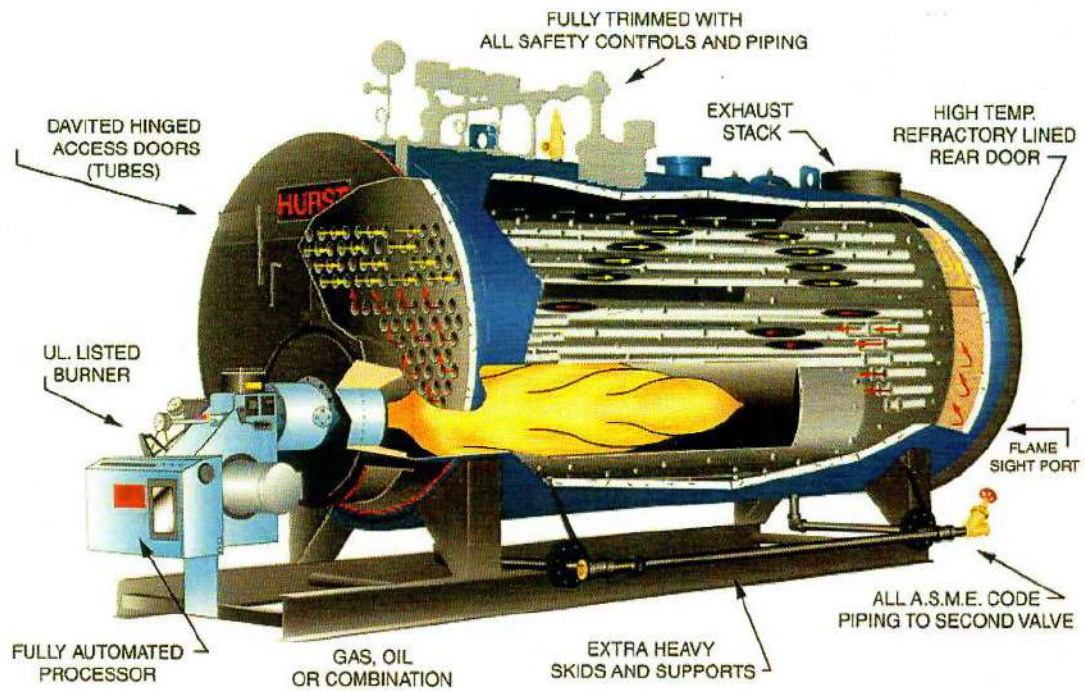


**MODUL**  
**PEMBINAAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA**  
**OPERATOR PESAWAT UAP KELAS I**



**ANALISA KECELAKAAN**  
**PELEDAKAN**

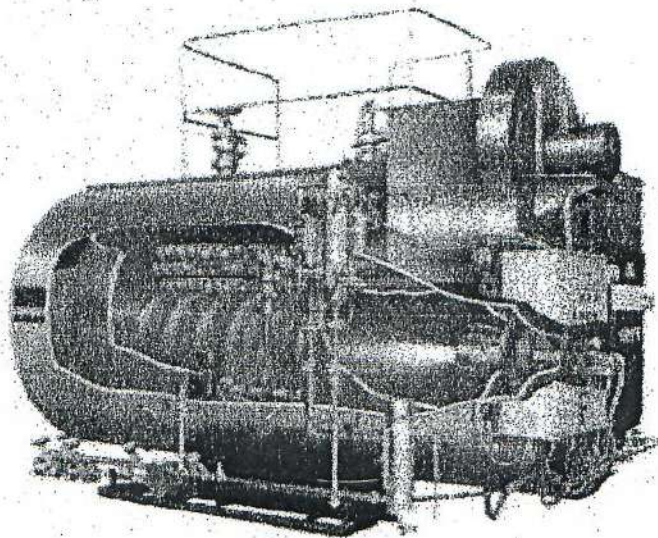
**MATERI 10**

**PT. DHIYA ANEKA TEKNIK**  
**PERUSAHAAN JASA KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (PJK3)**  
**BIDANG PEMBINAAN K3**

JL. RAYA SERANG – CILEGON KM.02 RUKO KEPANDEAN KAV 5 – 6 KELURAHAN LONTAR BARU KECAMATAN SERANG KOTA,  
KOTA SERANG, PROVINSI BANTEN TELP 0254-216344, WEB dhiya.co.id

MODUL  
OPERATOR KETEL UAP  
KELAS I

ANALISA SEBAB - SEBAB  
PELEDAKAN KETEL UAP



DIREKTORAT PENGAWASAN NORMA KESELAMATAN  
DAN KESEHATAN KERJA

KERJA SAMA

JAPAN INTERNASIONAL COOPERATION AGENCY

TAHUN 1998-1999

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
1. Pendahuluan	1
1.1 Tujuan pembelajaran umum	1.a
1.2 Tujuan pembelajaran khusus	1.a
2. Analisa stastik mengenai kasus kelelahan ketel uap	2
2.1. Kasus kecelakaan menurut jenis ketel uap	2
2.2. Frekuensi terjadinya kecelakan dengan ketel uap	4
2.3. Jenis kecelakaan ketel uap	6
2.4. Penyebab kecelakaan pada ketel uap	8
2.5. Kecelakaan dengan ketel uap & pengendalian otomatis	14
2.6. Ringkasan hasil analisa stastik mengenai kecelakaan ketel uap	16
3. Contoh kecelakaan ketel uap yang terjadi pada akhir-akhir ini	19
3.1. Kecelakaan oleh karena kekurangan air dengan ketel uap pipa api	19
3.2. Kecelakaan mengenai ketel uap air	21
3.3. Ledakan gas dengan ketel uap pipa api	24
3.4. Retak pada ketel uap besi tuang yang disebabkan oleh kekurangan air	27
3.5. Kecelakaan pada ketel uap besi tuang yang disebabkan korosi	30
3.6. Kecelakaan pada ketel uap pipa air disebabkan oleh kekurangan air	32
3.7. Ledakan gas yang terjadi dengan ketel uap pipa air	36

4.	Kasus kecelakaan ketel uap	44
4.1.	Kecelakaan yang disebabkan oleh retak pada ketel uap besi tuang	44
4.2.	Kecelakaan ketel uap pipa api karena karena kekurangan air	46
4.3.	Ledakan gas pada ketel uap pipa api	50
4.4.	Kebakaran pada ketel uap one through	54
5.	Kasus kecelakaan ketel uap di Amerika Serikat	59
5.1.	Komentar ahli-ahli ketel uap	61
5.2.	Penjelasan tambahan	52
6.	kesimpulan	66

## **Analisa Sebab-Sebab Peledakan Ketel Uap**

### **1. Pendahuluan**

Pada akhir-akhir ini berkat kemajuan bahan baku, serta teknik rancangan, pemasangan, pengontrolan dan pengendalian, kecelakaan yang serius yang membahayakan jiwa manusia makin berkurang. Namun di lain pihak, ada beberapa kasus kecelakaan yang disebabkan oleh tidak berfungsinya alat pengendalian otomatis yang mengoperasikan ketel uap. Dalam kasus demikian, tidak berfungsinya alat tersebut mengakibatkan kehancuran ketel uap tersebut yang membahayakan jiwa manusia.

Dalam masalah ini, dijelaskan penyebab kecelakaan boiler berdasarkan data kecelakaan yang terjadi selama 10 tahun dari tahun 1987 sampai dengan 1996. Selain dianalisa penyebabnya, juga dijelaskan beberapa kasus kecelakaan yang terjadi pada akhir-akhir ini. Dalam pelaksanaan analisa, juga diperhatikan hubungan antara ciri-khas kecelakaan dan jenis ketel uap. Frekwensi, keadaan dan penyebab kecelakaan sangat berbeda tergantung jenis ketel uap.

1.1. Tujuan pembelajaran umum

Setelah mempelajari modul diharapkan peserta operator ketel uap memahami penyebab-penyebab kecelakaan ketel uap.

1.2. Tujuan pembelajaran khusus

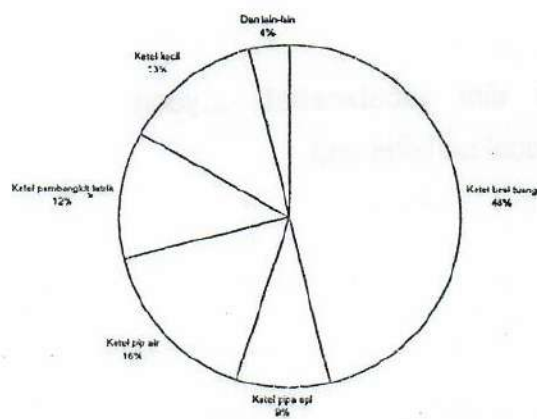
Setelah mempelajari modul ini diharapkan setiap operator mampu untuk :

- ...Mengetahui dan dapat menganalisa sebab-sebab ...kecelakaan pada ketel uap
- ... Mengetahui akibat yang timbul dari peledakan ketel ...uap
- ...Mengidentifikasi secara dini sebab-sebab ...yang ..dapat mengakibatkan peledakan ketel uap.

## 2. Analisa statistik mengenai kasus kecelakaan ketel uap

### 2.1. Kasus Kecelakaan Menurut Jenis Ketel Uap

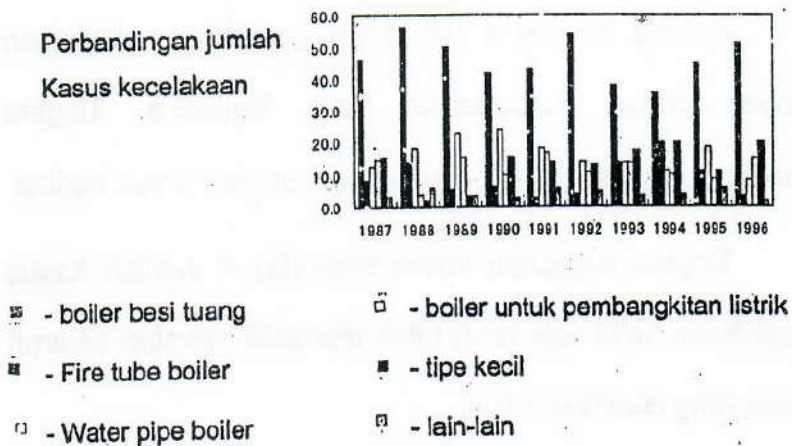
Gambar 1 menunjukkan pembagian kasus kecelakaan selama 10 tahun terakhir. Menurut Gambar 1, 46% dari kecelakaan terjadi pada ketel uap besi tuang, 16% pada ketel uap pipa api, 13%, 12% pada ketel uap untuk pembangkitan listrik dan 9% pada ketel uap pipa api. Kecelakaan dengan ketel uap besi tuang (hampir seluruh kasus adalah retak pada petak jalan/section).



Grafik Prosentase Kecelakaan pada Berbagai jenis ketel uap

1. boiler besi tuang
2. Fire tube boiler
3. Ketel pipa air (water piper boiler)
4. Boiler untuk pembangkitan listrik
5. Tipe berukuran kecil
6. 6. lain-lain

Gambar 1. Proporsi jumlah kasus kecelakaan ketel uap menurut jenis



Gambar 2. Perubahan di dalam perbandingan jumlah kasus kecelakaan ketel uap.

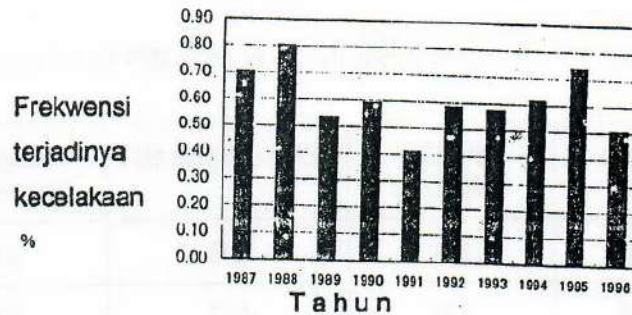
Gambar 2 menunjukkan perubahan dalam perbandingan jumlah kasus kecelakaan ketel uap menurut jenis selama 10 tahun terakhir. Hal yang menonjol pada tahun 1996 adalah peningkatan kecelakaan dengan ketel uap besi tuang berturut-turut sejak tahun 1995 sedangkan kecelakaan dengan ketel uap pipa api sangat berharga. Kecelakaan dengan ketel uap pipa air berkurang sampai setengah.

## 2.2. Frekwensi Terjadinya Kecelakaan dengan Ketel Uap

Analisa frekwensi terjadinya kecelakaan dilakukan hanya dengan kasus-kasus yang diperiksa. Tingkat terjadinya kecelakaan dapat dihitung menurut rumus berikut.

Tingkat terjadinya kecelakaan (%) = Jumlah kasus kecelakaan ketel uap yang telah diselidiki : jumlah seluruh kasus yang diselidiki x 100.

Tingkat terjadinya kecelakaan selama 10 tahun terakhir dihitung 0,16% menurut rumus tersebut diatas. Pada tahun 1996, tingkat terjadinya kebakaran gedung terhadap seluruh jumlah kecelakaan kerja adalah 0,08%. Tingkat kematian oleh kecelakaan lalu lintas terhadap seluruh jumlah kendaraan (termasuk motor dan kendaraan bermotor lain) adalah 1.1%. Maka tingkat terjadinya kecelakaan ketel uap merupakan sekitar 8 kali lipat dibandingkan kasus kebakaran gedung, sekitar  $\frac{1}{2}$  dari kematian oleh kecelakaan lalu lintas. Dapat dikatakan bahwa tingkat kecelakaan ketel uap cukup tinggi.



Gambar 3. Perubahan di dalam frekwensi terjadinya kecelakaan ketel uap.

Perubahan dalam terjadinya kecelakaan ketel uap dari tahun ke tahun terlihat pada gambar 3. Tingkat kecelakaan terendah pada tahun 1991. Selama beberapa tahun terakhir, tingkat cenderung meningkat. Namun pada tahun 1996 angka tersebut menurun sebesar 0.05%.

Tabel 1 menunjukkan tingkat terjadinya kecelakaan ketel uap menurut jenis ketel uap. Kecelakaan dengan ketel uap besi tuang sangat menonjol. Selama 10 tahun terakhir, tingkat rata-rata kecelakaan dengan ketel uap besi tuang merupakan 10 kali lipat dibandingkan kecelakaan dengan ketel uap pipa api atau 4 kali lipat dibandingkan ketel uap pipa air. Pada tahun 1996, tingkat terjadinya kecelakaan adalah 1 dibanding 164 sedangkan kecelakaan dengan ketel uap besi tuang pada tahun tersebut adalah 1 dibanding 53 unit ketel uap besi tuang.

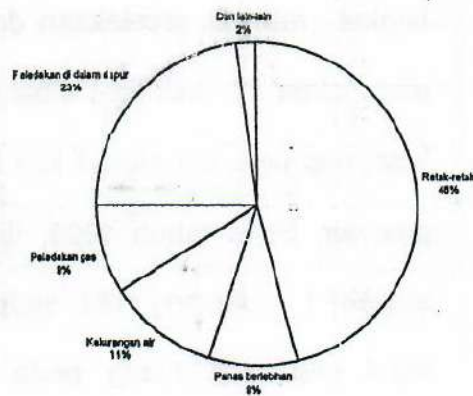
Tabel 1 Frekwensi terjadinya kecelakaan ketel uap

Tahun	Ketel Uap Besi Tuang	Ketel uap pipa api	Seluruh Jenis Pipa Ketel uap	Seluruh Jenis Ketel Uap
1987	2.01	0.16	0.60	0.71
1988	2.31	0.37	0.47	0.80
1989	1.42	0.10	0.70	0.54
1990	1.68	0.11	0.53	0.59
1991	1.19	0.04	0.49	0.41
1992	2.34	0.04	0.29	0.59
1993	1.67	0.23	0.38	0.58
1994	1.80	0.45	0.24	0.61
1995	2.45	0.34	0.50	0.74
1996	2.04	0.09	0.35	0.50
Rata-rata	1.88	0.19	0.47	0.61

2.3. Jenis-Jenis Kecelakaan Ketel Uap

Gambar 4 adalah hasil analisa bentuk kecelakaan ketel uap

- (1) Kekurangan air
- (2) Ledakan gas
- (3) Pemecahan
- (4) Retakan
- (5) Over heating, kebocoran



Gambar 4. Bentuk kecelakaan ketel uap

Pada Gambar 4, kasus pemecahan, peretakan, kelebihan panas (over-heating) kebocoran tidak termasuk yang disebabkan oleh kekurangan air. Peretakan merupakan 46% dari seluruh kasus kecelakaan. Hampir seluruh kasus tersebut terjadi dengan ketel uap besi tuang.

Bentuk kecelakaan menurut jenis ketel uap dianalisa pada Gambar 5. Dapat diketahui bentuk kecelakaan sangat berbeda di antara masing-masing jenis ketel uap. Bagi kecelakaan dengan ketel uap pipa api, ledakan gas (39%) dan kekurangan air (29%) adalah bentuk utama yang merupakan 68% dari seluruh kecelakaan. Pada umumnya kecelakaan dengan ledakan gas dan kekurangan air menimbulkan kerugian yang besar. Maka, meskipun jarang terjadi kecelakaan dengan ketel uap pipa api, bila terjadi kecelakaan, dapat menimbulkan kerugian yang besar.

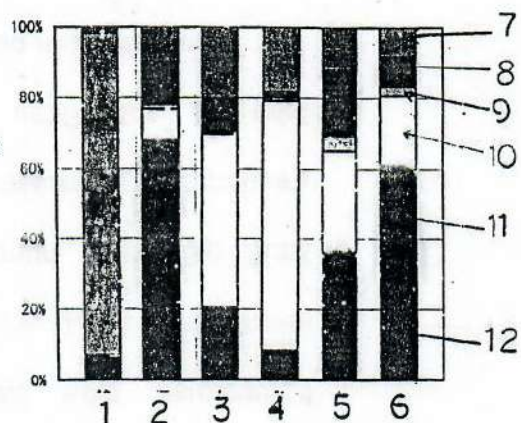
Dengan ketel uap pipa air, sering terjadi pemecahan pipa air sedangkan kekurangan air jarang terjadi. Kecenderungan tersebut juga menonjol dengan ketel uap yang digunakan untuk pembangkitan listrik, yang juga merupakan ketel uap pipa air. Kecelakaan dengan pemecahan pipa air merupakan 71% dari seluruh kecelakaan. Dengan ketel uap besi tuang 91% kecelakaan

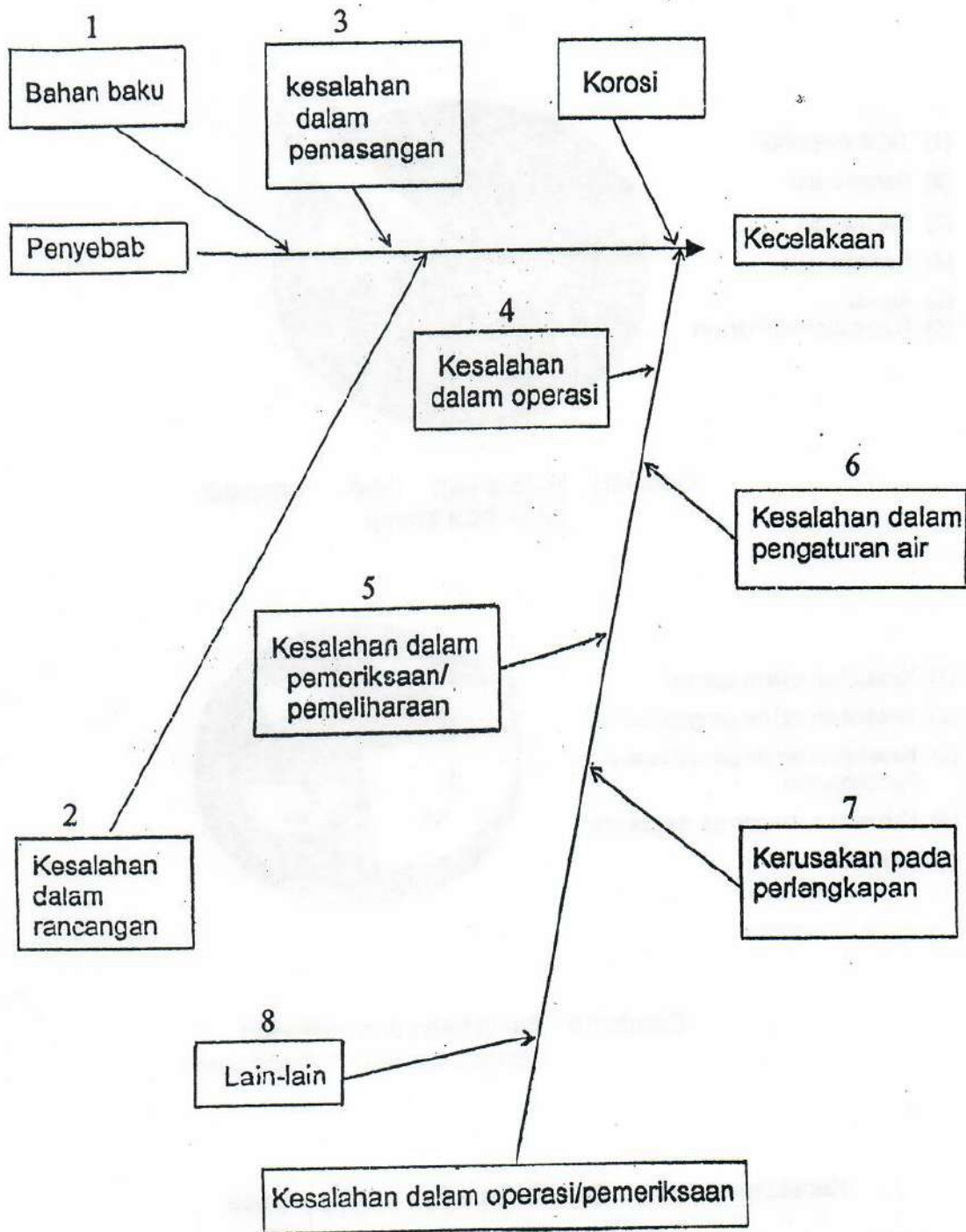
disebabkan oleh retakan sedangkan ledakan gas atau kekurangan air jarang terjadi.

#### 2.4. Penyebab Kecelakaan Pada Ketel Uap

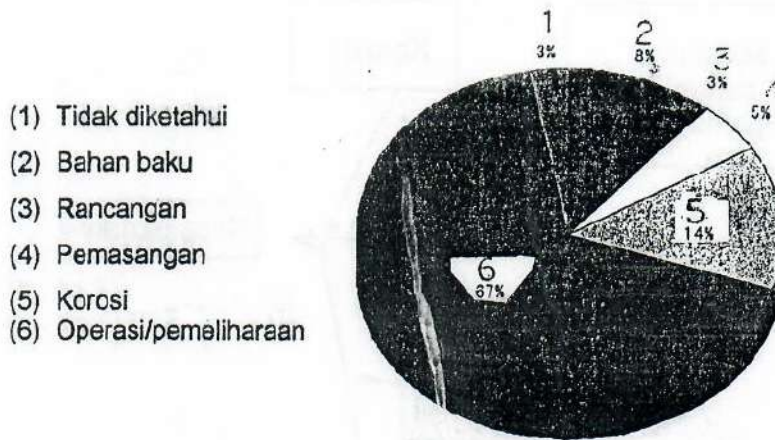
Suatu kecelakaan ketel uap pada umumnya disebabkan oleh penyebab ganda. Dalam bagian ini dibahas penyebab utama, terutama dibagi "bahan baku", "kesalahan dalam rancangan", "kesalahan dalam pemasangan", "korosi", "kesalahan dalam operasi/pemeliharaan". Kesalahan dalam operasi / pemeliharaan dibagi lagi ke hal-hal seperti "kesalahan operasional", "kesalahan dalam pemeliharaan/ pemeriksaan", "ketidak beresan dalam pengendalian pipa air", "kerusakan pada perlengkapan" dan "lain-lain" (lihat Gambar 6)

- (1) Boiler besi tuang
- (2) Fire tube boiler
- (3) Water pipe boiler
- (4) boiler untuk pembangkitan listrik
- (5) Tipe kecil/
- (6) Lain-lain
- (7) Lain-lain
- (8) Overheating, pembocoran
- (9) Retakan
- (10) Pemecahan
- (11) Ledakan gas
- (12) Kekurangan air





Gambar 6 Penyebab Kecelakaan



Gambar7 kecelakaan tidak termasuk boiler besi tuang)

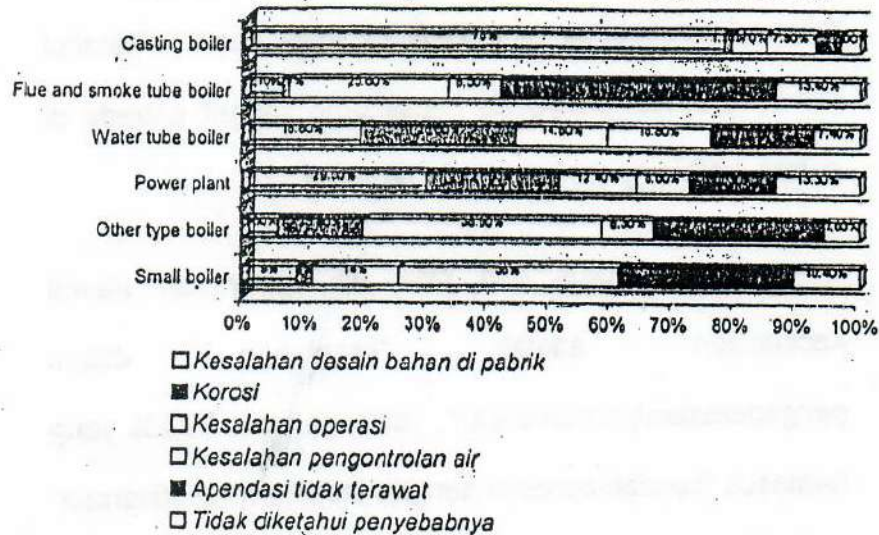


Gambar 8 Penyebab yang berkaitan Dengan operasi/ pemeliharaan

Kecelakaan yang disebabkan oleh retakan pada ketel uap besi tuang semuanya disebabkan oleh tekanan dari dalam. Gambar 7 adalah hasil analisa penyebab kecelakaan yang tidak termasuk untuk ketel uap besi tuang.

Pada umumnya menurut Gambar 7, penyebab utama adalah “kesalahan operasi / pemeliharaan” yang merupakan 67% dari seluruh penyebab, penyebab berikut adalah korosi yang merupakan 14%. Tetapi, suatu penyebab yang termasuk korosi mengakibatkan terdapatnya lubang sehingga menimbulkan pemecahan dapat dibayar santunan.

Grafik 3. Kecenderungan terjadinya kecelakaan ketel uap



- |  |  |
|--|--|
| (1) Tipe kecil   | (8) Korosi   |
| (2) Lain-lain  | (9) dalam pengoperasian  |
| (3) boiler untuk penggunaan pembangkitan listrik       | (10) Kesalahan dalam pengaturan air                                |
| (4) boiler pipa air                                    | (11) Kesalahan dalam inspeksi/pemeliharaan, kerusakan perlengkapan |
| (5) Fire tube boiler/boiler pipa air                   | (12) Penyebab tidak diketahui                                      |
| (6) boiler besi tuang                                  |  |
| (7) Kesalahan dengan bahan baku/perancangan/pemasangan |  |

"Kesalahan dalam operasi/pemeliharaan" dirinci seperti terlihat pada Gambar 8. "Kesalahan dalam operasi", "Kesalahan dalam pengaturan air", dan "ketidak salahan dengan inspeksi/pemeliharaan" masing-masing merupakan 25% sedangkan "kerusakan dengan perlengkapan" adalah 11%.

Gambar 9 menunjukkan penyebab kecelakaan menurut jenis ketel uap. Dengan jelas dapat diketahui bahwa proporsi penyebab kecelakaan sangat berbeda di antara ketel uap yang jenisnya berbeda.

Dengan ketel uap pipa api, penyebab utama kecelakaan adalah "kesalahan dalam pengoperasian/pemeliharaan", yaitu sebesar 79,2% yang termasuk "ketidak-beresan dengan inspeksi/pemeliharaan" dan "kerusakan dengan perlengkapan" yang sebesar 45,1%. Maka bilamana diperbaiki kegiatan pemeriksaan keadaan sehari-hari serta pemeliharaan/maintenance, sebagian besar kecelakaan dapat dihindari.

Sebagai penyebab kecelakaan dengan ketel uap jenis pipa air dan untuk pembangkitan listrik yang menonjol adalah korosi dibanding dengan ketel uap jenis lain. Kecelakaan semacam ini juga dapat dihindari bila diukur

ketebalan pipa air pada waktu inspeksi berkala serta dilakukan pemeriksaan non-destruktif, dan diganti pipa air secara dini bila ditemukan kelainan dengan pipa air. Pemeliharaan sangat penting untuk mencegah kecelakaan.

Sebagai penyebab kecelakaan dengan ketel uap besi tuang, "kesalahan dengan bahan baku/perancangan/pemasangan" sangat menonjol, atau sebesar 78,0%. Masalah dengan bahan baku tidak bermaksud mutu bahan baku ketel uap tidak memenuhi syarat. Besi tuang memiliki kelemahan terhadap stres dibandingkan baja lunak. Maka keretakan yang disebabkan panas berlebihan (heat stress) merupakan penyebab utama untuk kecelakaan. Oleh sebab itu, perlu rancangan dan cara pengoperasian yang memperkecil tekanan panas berlebihan (heat stress) yang timbul selama pengoperasian serta memperkecil jumlah pengulangan operasi. Pada umumnya, pengendalian pembakaran dengan ketel uap besi tuang adalah kontrol dengan On/Off atau pengendalian pada 3 posisi. Bila beban ketel uap terlalu ringan, berarti/pembakar sering mati nyala. Dengan demikian setiap kali mati-nyala tekanan panas berlebihan (heat stress) yang disebabkan

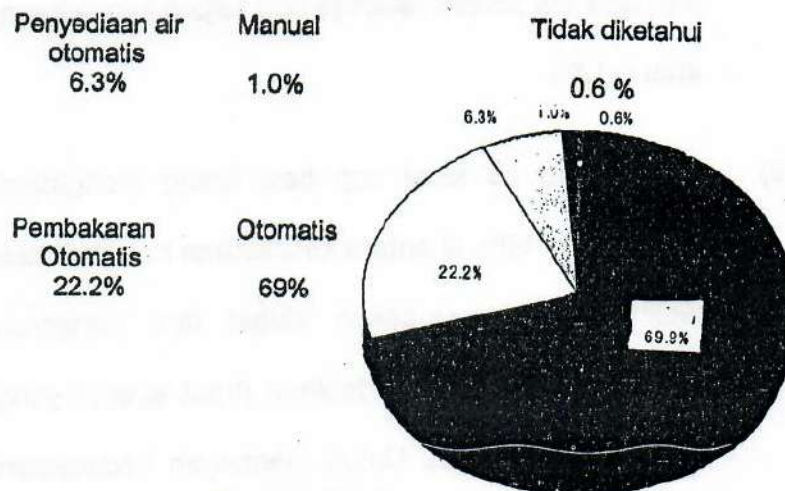
perbedaan suhu di antara di dalam dan di luar dapur api. Bila mana beban ketel uap terlalu kecil, sebaiknya pembakar diganti dengan yang berkapasitas lebih kecil sehingga frekwensi mati-nyala lebih jarang.

#### 2.5. Kecelakaan dengan Ketel Uap dan Pengendalian Otomatis

Jumlah kasus kecelakaan menurut cara pengendalian dijelaskan pada Gambar 10. Dengan ketel uap jenis full-automatic, penyediaan air maupun pembakaran diatur secara otomatis. Ketel uap otomatis adalah ketel uap yang pembakaran saja diatur secara otomatis, seperti ketel uap air hangat. Ketel uap dengan penyediaan air secara otomatis adalah ketel uap yang memanfaatkan panas yang dibuang atau yang menggunakan bahan bakar kayu buangan.

Gambar 10 menunjukkan proporsi jumlah kasus kecelakaan bukan persentase terjadinya kecelakaan. Namun dapat diketahui bahwa ketel uap dengan alat pengaman dan yang dikendalikan secara otomatis sering menimbulkan kecelakaan. Tingkat terjadinya kecelakaan yang dihitung berdasarkan data pemasangan ketel uap menurut metode pengendalian yang diperoleh dari Departemen Tenaga Kerja (Direktorat Pengawasan

Norma Keselamatan dan Kesehatan Kerja) menunjukkan persentase kecelakaan yang terjadi pada ketel uap dengan alat pengendalian otomatis adalah 0,8% sedangkan persentase tersebut untuk ketel uap yang dikendalikan secara manual adalah 0,5%. Menurut data tersebut dapat dikatakan bahwa dengan ketel uap yang dikendalikan secara manual lebih jarang terjadi kecelakaan.



Gambar 10. Presentasi kecelakaan menurut metode pengendalian

## 2.6. Ringkasan Hasil Analisa Statistik mengenai Kecelakaan Ketel Uap

Hasil analisa mengenai kecelakaan ketel uap selama 10 tahun terakhir dapat diringkas sebagai berikut :

- (1) Tingkat terjadinya kecelakaan ketel uap secara keseluruhan mencapai cukup tinggi, atau 0,6%. Tingkat tersebut menurut jenis ketel uap. Kecelakaan dengan ketel uap besi tuang paling menonjol, yaitu 1,88% sedangkan dengan ketel uap pipa api secara relatif jarang terjadi kecelakaan, atau 0,19%.
- (2) 1 di antara 53 ketel uap besi tuang mengalami kecelakaan. 90% di antara kecelakaan tersebut oleh retakan yang merupakan akibat dari pengaruh tekanan panas yang berlebihan (heat stress) yang berulang kali terjadi. Untuk mencegah kecelakaan tersebut, sebaiknya digunakan pembakar (burner) yang sesuai dengan beban dan dikurangi jumlah terjadinya tekanan panas yang berlebihan (heat stress).
- (3) Tingkat terjadinya kecelakaan dengan ketel uap pipa api sangat rendah, atau di antara 526 unit ketel

uap jenis ini mengalami kecelakaan. Namun, penyebab kecelakaan yang menonjol adalah kekurangan air dan ledakan gas yang merupakan kecelakaan yang cukup serius. Kecelakaan tersebut pada umumnya merupakan akibat dari kesalahan dalam pengoperasian atau kesalahan dalam penanganan atau pemeliharaan. Pengguna ketel uap pipa api pada umumnya lebih rajin melakukan pemeriksaan fungsi alat pencegah kekurangan air dibandingkan pengguna ketel uap jenis lain. Mengingat 45,1% dari seluruh kecelakaan dengan jenis ketel uap ini adalah akibat dari kesalahan di dalam pemeliharaan atau kerusakan pada perlengkapan. Pemeriksaan dan pemeliharaan sehari-hari sangat penting untuk mencegah kecelakaan yang serius.

- (4) Ketel uap pipa api termasuk yang digunakan untuk pembangkitan listrik sering mengalami kecelakaan yang disebabkan oleh pecahnya pipa air. Ledakan gas juga merupakan 11,1% dari seluruh kecelakaan. Penyebab pemecahan adalah creep atau ketidakberesan dengan sirkulasi air. Terutama dengan ketel uap untuk pembangkitan listrik sering

terjadi pemecahan oleh karena creep yang terdapat pada superheater, atau korosi yang terjadi pada fuel economizer. Maka inspeksi pada waktu pemeriksaan berkala dan pemeliharaan sebaiknya ditingkatkan.

- (5) Ketel uap one through jenis ini sering terjadi kecelakaan yang disebabkan kekurangan air, panas berlebihan (over heating) serta pembocoran. Menurut penyelidikan, tingkat penggunaan alat penghentian ketel uap bila terjadi kekurangan air dalam pengoperasian sehari-hari adalah 70% untuk ketel uap jenis lain sedangkan dengan ketel uap ukuran kecil ini tingkat tersebut adalah 36%. Keadaan tersebut diperkirakan sangat berkaitan dengan seringnya kejadian kecelakaan oleh karena kekurangan air. Tingkat terjadinya kecelakaan oleh karena panas berlebihan (over-heating) dan pembocoran juga lebih tinggi dibandingkan ketel uap jenis lain. Pada umumnya, one through ketel uap menunjukkan panas (heat load) yang tinggi pada permukaan transmisi suhu panas. Maka bila kerak (scale) menempel pada pipa air oleh karena ketidakberesan pengaturan air, dapat terjadi panas

berlebihan (over-heating) atau pembocoran. Pada akhir-akhir ini banyak diterapkan pengolahan air regenerasi softener berlanjutan (regenerasi otomatis water softening plant). Dalam pengendalian pengolahan air sistem regenerasi softener berlanjutan (water softening plant), perlu diperhatikan pengaturan air.

3. Contoh kecelakaan ketel uap yang terjadi pada akhir-akhir ini.

3.1. Kecelakaan oleh karena kekurangan air dengan ketel uap pipa api

(1) Keterangan mengenai ketel uap

Luas bidang pemanas: 100 M<sup>2</sup>

Tekanan maksimal yang digunakan : 10 kg/cm<sup>2</sup>

Kwantitas penguapan maksimal : 8 t/jam

Bahan bakar : solar

Tahun pemasangan : tahun 1979

(2) Keadaan pada waktu terjadi kecelakaan

Pada hari terjadi kecelakaan, pengoperasian dimulai sekitar jam 7 pagi. Sekitar jam 10 siang, dengan mendengar suara meletusnya uap dari ketel uap, operator ketel uap mengungsi dari ruang ketel uap. 10 menit kemudian, peletusan uap telah

berhenti. Operator memasuki ruang listrik, dan mematikan sumber listrik utama untuk ketel uap. Separuh dari bagian atas pipa api (fire tube) menjadi panas dan merah, bagian atas depan membengkak dan rusak oleh karena tekanan. (Lihat Foto no.1).

(3) Penyebab kecelakaan

Dengan 3 di antara 5 awat timbel elektroda yang ada di dalam alat penyediaan air secara otomatis/pencegah kekurangan air, Isolasi kawat timbel tersebut rusak di lokasi lubang di mana kawat tersebut masuk ke dalam yang terletak pada penutup control panel. Ada kemungkinan terjadi hubungan singkat di antara bagian aliran arus untuk start-up pompa air serta pencegah kekurangan air dan kawat penghubung ke tanah. Di dalam kotak sambungan kabel dari alat pencegah kekurangan air model float, terdapat bekas pembocoran uap. Maka kelihatannya dengan hubungan pencegah kekurangan air juga terjadi hubungan singkat.

(4) Tindakan untuk mencegah kecelakaan serupa

Selain dilakukan pemeriksaan berkala mengenai kerusakan pada isolasi kawat timbel, bila terdapat bagian-bagian isolai yang dengan mudah rusak, diambil tindakan proteksi (misalnya bushing).

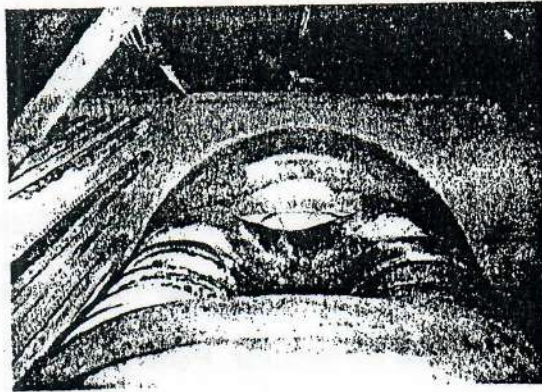


Foto no.1 Bagian depan pipa api membengkok dan rusak oleh karena tekanan

3.2. Kecelakaan mengenai ketel uap

(1) Keterangan mengenai pipa air

Luas bidang pemanas: 9,9 m<sup>2</sup>

Tekanan maksimal yang digunakan : 10 kg/cm<sup>2</sup>

Kwantitas penguapan maksimal : 1 t/jam

Bahan bakar : solar jenis A

Tahun Pemasangan : tahun 1990

(2) Keadaan pada waktu terjadi kecelakaan

Pada jam 11 malam, ketel uap dinyalakan secara otomatis, dinaikkan tekanan ketel uap, dan dimulai pengiriman udara. Sesudah itu, ketel uap dioperasikan tanpa ditunggu operator. Pada jam 6 pagi esokan hari, ketika operator ketel uap masuk kerja, ditemukan ketel uap berhenti operasinya, dan casing bagian luar dari ketel uap tersebut dalam keadaan rusak. Selain itu, dari flensa jalan asap ditemukan airnya bocor. Setelah diselidiki, ditemukan 13 buah pipa air terbakar dan terbuka, 9 buah pipa air terbakar. Pembakar chip (Burner chip) dan defuser terbakar dan jatuh. Kabel listrik untuk pengendalian otomatis meleleh. Pompa penyedia air tidak dapat dioperasikan oleh karena panas berlebihan (over-heating). (Lihat foto no. 2)

(3) Penyebab kecelakaan

Ketel uap ini sebenarnya dilengkapi dengan alat pengatur penyediaan air tetapi tidak berfungsi. Alasan mengapa alat-alat tersebut tidak berfungsi tidak diketahui.

(4) Tindakan untuk mencegah kecelakaan serupa

Sebelum dioperasikan ketel uap, setiap bagiannya diperiksa dulu. Terutama, perlu dicek apakah alat pengendali otomatis berfungsi baik. Selain itu, setiap hari dilakukan pemeriksaan fungsi alat pencegah kekurangan air. Selama pengoperasian ketel uap, jangan terlalu tergantung pada pengoperasian otomatis. Sebaiknya sering dilakukan agar dipastikan ketel uap beroperasi dengan aman.

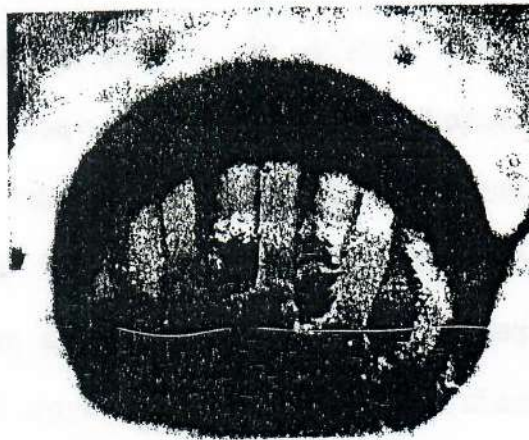


Foto no. 2 Pipa air terbakar dengan terbuka

### 3.3. Ledakan gas dengan ketel uap pipa api

(1) Keterangan mengenai ketel uap

Luas bidang pemanas : 72 m<sup>2</sup>

Tekanan maksimal yang digunakan : 10 kg/cm<sup>2</sup>

Kwantitas penguapan maksimal : 6 t/jam

Bahan bakar : Kerosin

Tahun pemasangan : tahun 1989

(2) Keadaan pada waktu terjadi kecelakaan

Seperti biasanya, pagi-pagi ketel uap mulai dioperasikan, dan pengoperasian otomatis berjalan lancar. Setelah tengah hari, beban ketel uap menjadi ringan, dan pembakaran pembakar (burner) berulang-ulang On dan Off. Setelah pembakaran pembakar (burner) menjadi Off dan percikan pembakar (ignite burner) menyala dan kemudian pada waktu pembakar utama dinyalakan, tiba-tiba jalan asap yang terletak pada jalan keluar ketel uap meledak. Puluhan kaca-kaca jendela dari gedung sebelah pecah. Namun tidak ada korban luka-luka. (Lihat foto no.3)

(3) Penyebab kecelakaan

Menurut hasil penyelidikan oleh produsen ketel uap, tidak ditemukan kelainan dengan pembakar (burner), alat pengendalian pembakaran maupun kipas paksa (forced draft fan). Namun drain trap dari assist uap (steam) drain separator untuk Nox ditemukan rusak. Pada waktu reset dan pengapian pembakar (ignite burner) menyala kemudian disusul dengan pembakar (burner) utama, oleh karena assist uap (steam) mengandung drain, penyalaan api tidak sempurna sehingga kemungkinan besar terdapat gas yang tidak terbakar sempurna. Sistem pengoperasian ketel uap tersebut adalah selama 9 detik setelah penyalaan pembakar (ignite burner) menyala dan disusul dengan pembakar (burner) utama inter lock yang mencegah pembakaran tidak berfungsi. Selama waktu tersebut, diperkirakan gas yang tidak terbakar sempurna terkumpul di sekitar jalan asap yang keluar dari ketel uap, dan kemudian disusul api dari pembakar (burner) utama, dan terjadi ledakan gas.

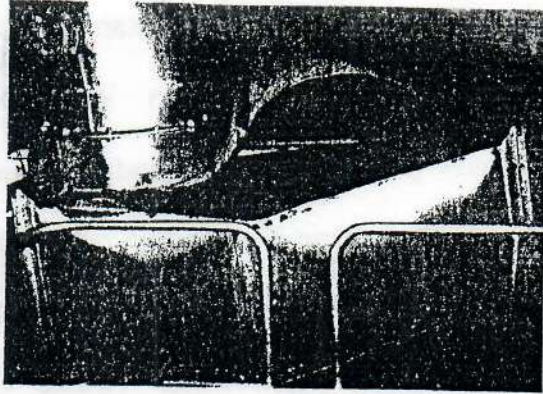


Foto no. 3 Jalan api rusak berat

- (4) Tindakan untuk mencegah kecelakaan serupa
  - (a) Aliran uap assis (Assist steam drain trap) diperiksa, diservice secara berkala agar berfungsi tetap baik.
  - (b) Pemeriksaan seluruh bagian alat pengatur ketel uap secara otomatis, overhaul/servis pembakar (burner) dan penyesuaian pembakaran sebaiknya diminta dilakukan oleh ahli dari podusen. Pemeriksaan/inspeksi dilakukan secara berkala.
  - (c) Jalan asap sebaiknya berbentuk tidak mengandung gas yang belum terbakar semprunya (tidak ada gas-pocket).

(d) Dipasang interlock untuk penurunan tekanan pengapian gas (ignite gas).

(e) Waktu sebelum pembakar (burner) utama dinyalakan dipersingkat sebisa mungkin (waktu interlock pencegah pembakaran tidak berfungsi sesingkat mungkin).

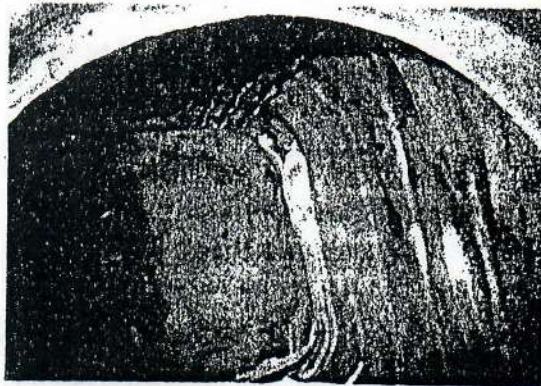


Foto no.4 Kelebihan panas (Overheat) dan retak terjadi dari bagian depan sampai 7 seksi serta seksi belakang.

#### 3.4. Retak pada ketel uap besi tuang yang disebabkan oleh kekurangan air.

(1) Keterangan mengenai ketel uap

Luas bidang pemanas : 4 m<sup>2</sup>

Tekanan maksimal yang digunakan : 1 kg/cm<sup>2</sup>

Jumlah seksi : 8

Bahan bakar : Solar

Tahun pemasangan : tahun 1983

(2) Keadaan pada waktu terjadi kecelakaan

Pada waktu diadakan pemeriksaan ketel uap, ditemukan pembocoran uap dari bagian utama. Dengan segera, ketel uap dimatikan, casing luar dibuka, dan diadakan pemeriksaan. Ditemukan seksi belakang dan bagian atas ruang pembakaran sebelah kanan dari sksi no. 7 terletak (Foto no. 4)

(3) Penyebab kecelakaan

Oleh karena pengendalian mutu air tidak baik, (scale)/kerak ketel uap menempel sehingga pelampung dari pengatur ketinggian air tidak berfungsi, dan katup penyediaan air tidak buka. Selain itu pelampung dari pencegah kekurangan air juga tidak berfungsi oleh karena kerak ketel uap yang menempel. Dengan demikian, pengoperasian dengan air yang kurang banyak terjadi sehingga terjadi kelebihan panas (over-heating) seksi yang mengakibatkan retak. (Lihat Foto no. 5).

(4) Tindakan untuk mencegah kecelakaan serupa

(a) Dengan ketel uap besi tuang, pada dasarnya condensation dikembalikan 100%. Dengan ketel uap yang menggunakan uap baru untuk tujuan

penambahan kelembaban, perlu diperhatikan mutu air dengan memasang pengolah air (water softer).

(b) Pada waktu diadakan pemeriksaan fungsi masing-masing bagian, diadakan overhaul alat pengatur agar tetap berfungsi baik.

(c) Setiap hari lebih dari 1 kali diadakan pemeriksaan berfungsinya alat pencegah kekurangan air.

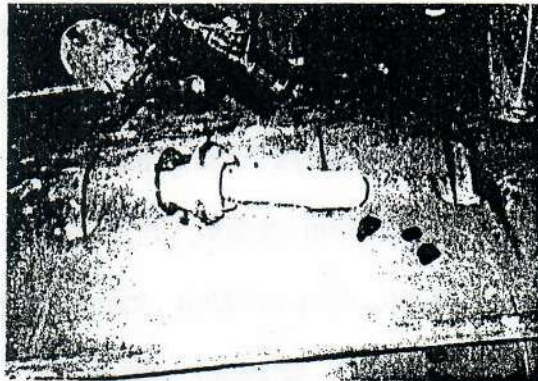


Foto 5 Banyak kerak menempel pada pelampung

3.5. Kecelakaan pada ketel uap besi tuang yang disebabkan korosi

(1) Keterangan mengenai ketel uap

Luas bidang pemanas : 19 m<sup>2</sup>

Tekanan maksimal yang digunakan : 1 kg/m<sup>2</sup>

Jumlah seksi : 9

Bahan bakar : Solar jenis A istimewa

Tahun pemasangan : tahun 1980

(2) Keadaan pada waktu terjadi kecelakaan

Pada waktu ketel uap tersebut dioperasikan, ditemukan adanya uap di dalam gas buangan yang keluar dari cerobong asap. Dari hasil overhaul seksi ditemukan adanya lubang berukuran 50 mm x 40 mm di belakang bagian kiri atas dari seksi kedua dari depan, atau sebelah kanan nipple besar. Di dalam bagian tersebut ditemukan korosi yang sangat parah. Ketika pinggir kanan dari bagian atas yang terletak di sebelahnya dipukul dengan palu, dengan mudah terjadi lubang. Dengan cara hammering, lubang tersebut menjadi makin besar, pada akhirnya sampai berukuran 90 mm x 16 mm.

Sekitar lubang nipple yang terletak di sebelah ujung kanan bagian bawah dari seksi

tersebut, terhimpun campuran karat merah dan kerak terlepas yang setebal 8 – 12 mm. Campuran tersebut ternyata sebanyak 3 mangkok (Lihat foto 6, 7, 8).

(3) Penyebab kecelakaan

Tahan apis bagian bawah dari ketinggian air terletak pada dekat permukaan atas dari jalan asap bagian atas. Bagian yang terletak diatas permukaan air secara langsung terkena api. Dapat dikatakan sama dengan keadaan yang dipanaskan tanpa air. Korosi tersebut diperkirakan akibat dari kelebihan panas (over-heating) tersebut.



Foto no. 6 Foto lubang akibat korosi yang terjadi pada bagian belakang seksi 2 yang diambil dari depan

(4) Tindakan untuk mencegah kecelakaan serupa

Periksa sisi dalam seksi ketel uap apa menempel kerak atau korosi setelah digunakan 10 tahun atau lebih .

Ketel besi tuang biasa menggunakan kandungan kondensat air pengisi 100%, kadang-kadang uap menyebabkan kelelahan yang tinggi didalam seksi , karena itu air pengisi harus kondisi yang bagus dengan cara pengolahan air atau softer water.

3.6. Kecelakaan pada ketel uap pipa air yang disebabkan oleh kekurangan air

(1) Keterangan mengenai ketel uap

Luas bidang pemanas : 100 m<sup>2</sup>

Tenakan maksimal yang digunakan : 10 kg/cm<sup>2</sup>

Jumlah operasi maksimal : 8 t/jam

Bahan bakar : Solar

Tahun pemasangan : tahun 1969

(2) Keadaan pada waktu terjadi kecelakaan

Ketel uap ini digunakan sebagai pembantu ketel uap utama. Pada hari terjadinya kecelakaan, sejak jam 1.30 siang ketel uap pengoperasian ketel

uap tersebut telah dihentikan. Sekitar jam 5 sore, lampu alarm kekurangan air dari ketel uap tersebut menyala sehingga petugas memeriksakan sekitar ketel uap. Petugas tersebut menemukan pembocoran air dari bagian bawah casing yang terletak di bagian belakang drum bawah. Menurut hasil penyelidikan, ditemukan lapisan tipis besi oksidasi pada permukaan pipa yang disebabkan panas yang berlebihan pipa pendingin (over-heating water cooling pipe) dari dapur api.

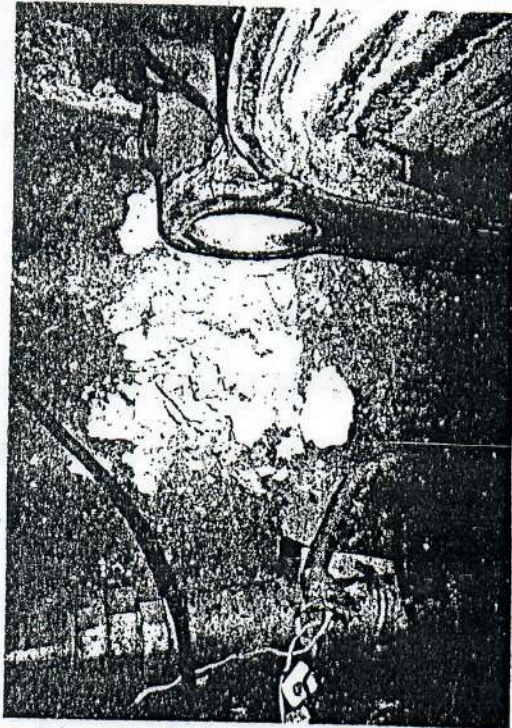


Foto no. 7 Kerak (scale) yang ditemukan dari lubang nipple yang terletak pada bagian bawah ujungkanan.

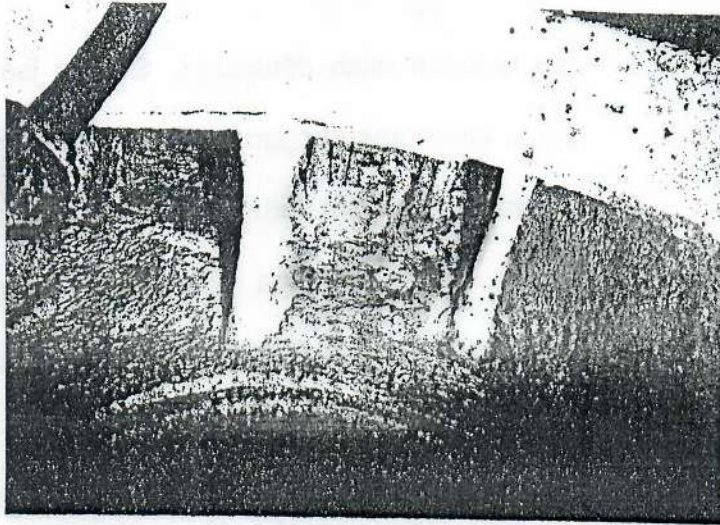


Foto no. 8 Korosi di sekitar lubang nipple besar pada bagian atas dan scale.

Satu buah pipa pendingin sebelah kanan sedikit menonjol ke arah dalam sedangkan dua buah pipa plafon sedikit menurun ke bawah. (Lihat foto no. 8).

(3) Penyebab kecelakaan

Operator ketel uap tidak merasa menyebabkan kekurangan air. Maka tidak diketahui kapan kekurangan air terjadi. Sebelumnya juga pernah beberapa kali lampu alarm kekurangan air menyala. Pembocoran air tersebut kelihatannya terjadi oleh karena tidak berfungsinya peralatan pengatur air tipe copes (copes) dari mesin penyedia air otomatis. Menurut hasil pengecekan fungsi setelah terjadi kecelakaan, dengan alat pencegah

kekurangan air (juga termasuk sistem listrik) tidak ditemukan kelainan. Namun kecelakaan ini diperkirakan disebabkan oleh tidak berfungsinya pelampun sehingga pengoperasian tidak dihentikan meskipun terjadi kekurangan air.

- (4) Tindakan untuk mencegah terjadinya kecelakaan serupa

Pemeliharaan alat penyediaan air otomatis ditingkatkan dalam pengoperasian sehari-hari. Pengujian untuk berfungsinya pencegahan kekurangan air dilakukan minimal 1 kali sehari. Dilakukan pelatihan mengenai keselamatan kerja bagi operator ketel uap sehingga kesadaran keselamatan kerja ditingkatkan. Bila operator mampu mengantisipasi bahaya kecelakaan. Kecelakaan dapat dihindari.

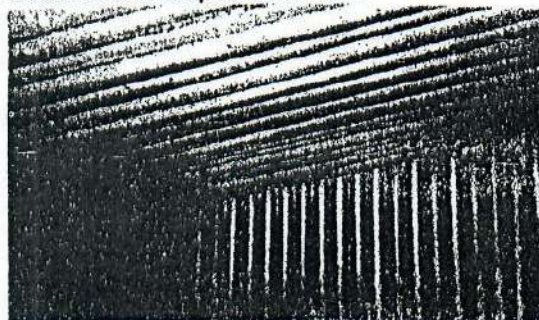


Foto no. 9 Dengan pipa pendingin (water cooling pipe) yang ada di plafon terjadi kelebihan panas, dan terdapat besi oksidasi di permukaannya.

### 3.7. Ledakan gas yang terjadi dengan ketel uap pipa air

#### (1) Keterangan mengenai ketel uap

Luas bidang pemanas : 690 m<sup>2</sup>

Tekanan maksimal yang digunakan : 16 kg/cm<sup>2</sup>

Jumlah operasi maksimal : 32 t/jam

Bahan bakar : Solar L.S.A.

Tahun pemasangan : tahun 1962

#### (2) Keadaan pada waktu terjadi kecelakaan

Dalam pengoperasian normal, pada waktu mulai operasinya ketel uap ini tekanan ditingkatkan sampai 7 kg/cm<sup>2</sup> dengan menggunakan pembakar penyuplai setara hidrolis (hydraulic spray burner), kemudian pembakar (burner) digantikan dan dinyalakan pembakar sistim uap (steam burner) sehingga ditingkatkan tekanan sampai tekanan yang biasanya digunakan.

Pada waktu dinyalakan hydraulic spray burner, suhu di dalam dapur api masih rendah sehingga banyak asap keluar dari cerobong. Pada

waktu terjadi kecelakaan, sedang diuji metode pembakaran penyemprotan di bawah udara yang dikompres dengan menggunakan pembakar tipe pistol penyuplay uap (steam spray burner gun).

Kronologis dari sejak dimulainya pengoperasian sampai terjadinya kecelakaan adalah seperti berikut.

JAM 7 : 30 Sesuai dengan tata pelaksanaan operasi yang ditentukan, dimulai persiapan untuk menyala ketel uap, termasuk pemeriksaan alat-alat pembantu serta pelaksanaan pre-purge selama 5 menit.

JAM 8 : 00 Ketel uap dinyalakan api, dan mulai ditingkatkan tekanan. Kecepatan arus bahan bakar : 400 l/jam.

Tekanan hidrolik sebelum masuk pembakar : 3,5 kg/cm<sup>2</sup>

Tekanan didalam dapur api : 5 mm

H<sub>2</sub>O

Dengan cara pemeriksaan visual, keadaan asap keluar maupun keadaan pembakaran dinilai baik.

JAM 9 : 00 Setelah tekanan uap didalam drum mencapai 5 kg/cm<sup>2</sup>, dimulai pengiriman udara untuk memanaskan pipa pengiriman udara di pabrik.

JAM 9 : 40 Kecepatan arus bahan bakar : ditingkatkan ke 500 l/jam

Tekanan hidrolik sebelum masuk burner : 5 kg/cm<sup>2</sup>

Tekanan udara untuk penyemprotan : 6 kg/cm<sup>2</sup>

Tekanan didalam dapur api : 5 mm H<sub>2</sub>O

Dengan cara pemeriksaan visual, keadaan asap keluar maupun keadaan pembakaran dinilai baik.

JAM 10 : 15 Dinyalakan api pada ketel uap yang terletak disebelahnya. (Pada waktu di-start dilakukan pembakaran

dengan penyemprotan udara dengan udara yang dikompres).

JAM 10 : 25 Tiba-tiba gas meledak di ketel uap ini dengan suara dahsyat dan sekitarnya diselimuti dengan asap hitam.

(3) Penyebab kecelakaan

Menurut cara men-start ketel uap yang sedang dilakukan pengujian pembakaran dengan udara yang dikompres, salah satu dari ketel uap ini atau ketel uap yang terletak disebelahnya dinyalakan satu per satu. Setelah pengoperasian diganti dari pembakaran dengan penyemprotan udara ke penyemprotan uap (penggantian ini dilakukan secara manual), ketel uap yang satunya dinyalakan.

Alasan penggantian tersebut adalah kapasitas kompresor udara tidak cukup menyediakan udara yang dikompres untuk penyemprotan bahan bakar solar untuk kedua unit ketel uap.

Pada pagi itu, bagian lain juga meminta penyediaan uap sehingga buru-buru menyalakan kedua ketel uap. Maka dengan asumsi ketel uap ini akan segera pindah dari pembakaran penyemprotan udara ke penyemprotan uap, ketel uap yang terletak di sebelahnya dinyalakan.

Dalam kenyataannya, sebelum penggantian tersebut terjadi pada ketel uap ini, persiapan untuk dinyalakan ketel uap sebelah telah selesai sehingga telah dimulai dinyalakan api dan pembakaran. Oleh karena dengan kedua ketel uap tersebut dilakukan pembakaran penyemprotan udara, tekanan udara yang dikompres menurun (diperkirakan tekanan yang dalam keadaan normal 7,5 kg/cm<sup>2</sup> menjadi kurang dari 5 kg/cm<sup>2</sup>). Dengan ketel uap ini yang dinyalakan terlebih dahulu tekanan hidrolik telah mencapai 5 kg/cm<sup>2</sup> sehingga penyemprotan tidak sempurna dan terdapat gas yang belum terbakar di dalam dapur api yang akhirnya meledak.

Ketel uap ini sebenarnya dilengkapi dengan alarm yang berfungsi jika perbedaan antara tekanan solar dan tekanan dari penyemprotan menurun. Tidak diketahui apakah alat tersebut bunyi atau tidak.

- (4) Kerugian yang dialami (Lihat foto 10 dan 11)
- a) Sepanjang plafon di bagian luar (ketebalan 2,3 mm) rusak dan terbuka di bagian depan ketel uap.
  - b) Batu tahan api bagian atas pembakar tile (burner tile) rusak/pelas, bagian depan ketel uap serta kerangka besi menekuk. Dinding batu tahan api juga menjadi longgar (menekuk maksimal 80 mm).
  - c) Terjadi distorsi dan perubahan bentuk seperti berikut.
    - Batu tahan api dinding sebelah kiri dan kerangka besi (maksimal 130 mm) rusak
    - Batu tahan api dinding sebelah kanan dan kerangka besi (maksimal 125 mm) rusak
    - Batu tahan api bagian belakang ketel uap dan kerangka besi (maksimal 90 mm)

d) Selain itu seluruh bagian dari batu tahan api tembok samping dan tembok baffle menjadi longgar, dan sebagian terlepas.

5) Tindakan untuk mencegah kecelakaan :

(a) Dilengkapi alarm dan alat pemberhenti operasi jika terjadi penurunan tekanan udara kompres.

(b) Pemeriksaan fungsi alarm penurunan perbedaan tekanan antara tekanan solar sebelum pembakar (burner) dan tekanan penyemprotan secara berkala.

(c) Bagi operator ketel uap dilakukan pendidikan ulang mengenai manual pengoperasian pada waktu dinyalakan ketel uap.

(d) Metode start-up pelaksanaan pembakaran penyemprotan udara dengan udara kompres diikuti baik. (Tidak dilakukan pembakaran penyemprotan udara secara bersamaan untuk dua unit ketel uap).

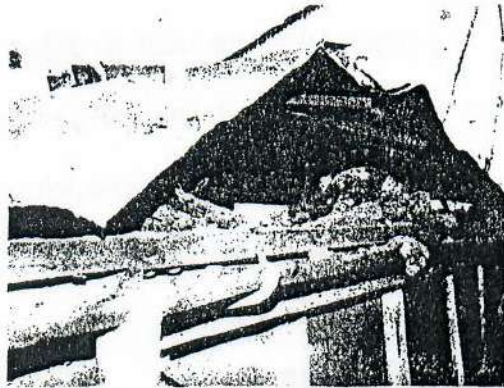


Foto 10 Ceiling casing rusak dan terbuka



Foto 11 Outer casing sebelah kanan menonjol keluar

- (e) Pemeriksaan fungsi alat pemantau api dilakukan secara berkala.
- (f) ketel uap yang terjadi kecelakaan dioperasikan kembali, fungsi sistem pengendalian tekanan,

sistem pengendalian pembakaran, sistem pengendalian tekanan di dalam dapur api serta sistem pengendalian penyediaan air termasuk alat pembantu dan perlengkapan serta fungsi sensor dicek kembali.

#### 4. Kasus kecelakaan Ketel uap

##### 4.1 Kecelakaan yang disebabkan oleh retak pada ketel uap besi tuang

###### (1) Keterangan mengenai ketel uap

Luas bidang pemanas : 2,2 m<sup>2</sup>

Tekanan maksimal yang digunakan : 1 kg/cm<sup>2</sup>

Bahan bakar : Solar

Tahun pemasangan : tahun 1975

Pemakaian : Penyediaan air panas, pemanas ruangan.

###### (2) Keadaan pada waktu terjadi kecelakaan

Pada sekitar jam 8 pagi ketika ketel uap diperiksa sebelum di-operasikan, ditemukan pembocoran air di sebelah kanan bagian utama ketel uap. Dibuka casing, dan diperiksa bagian dalam. Di bagian tengah dari ketinggian seksi ketiga

dari belakang, ditemukan retak horisontal sebesar 50 mm, dan pembocoran air.

(3) Kerusakan

Terdapat retakan pada seksi ketiga dari belakang (Foto no. 1).

(4) Penyebab, kecelakaan

Seksi yang terjadi kecelakaan terletak di dekat dengan lubang, sirkulasi air sehingga terdapat panas berlebihan (heat stress) berulang kali sebagai akibat dari perubahan suhu. Ketiga seksi dari 4 bagian belakang pernah diganti sebelumnya oleh karena terjadi retakan.

(5) Tindakan keselamatan

Berdasarkan hasil pemeriksaan, diketahui jarak waktu pompa penyedia air menyala kembali setelah berhenti sangat pendek. Dengan cara dimasukkan orifice plat ke dalam pipa pengeluaran dari pompa penyedia air, penyediaan air yang terjadi mendadak dapat dicegah. Hal tersebut juga mengurangi terjadinya perubahan suhu yang berlebihan.

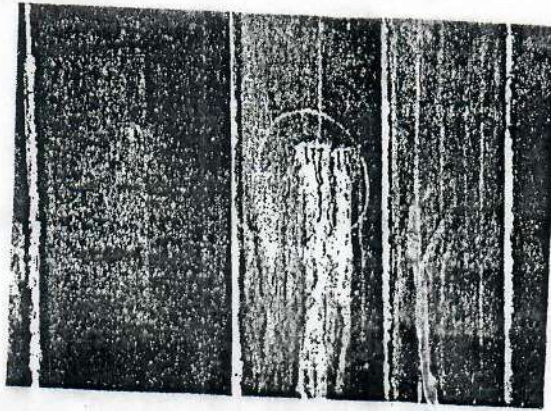


Foto 1 Retak yang terjadi pada seksi ketiga.

#### 4.2. Kecelakaan ketel uap pipa api karena kekurangan air

(1) Keterangan mengenai ketel uap

Luas bagian transmisi panas: 125,5 m<sup>2</sup>

Tekanan maksimal yang digunakan : 10 kg/cm<sup>2</sup>

Bahan bakar : Solar C

Tahun pemasangan : tahun 1971

Pemakaian : Produksi di pabrik

(2) Keadaan pada waktu terjadi kecelakaan

Pada jam 6 pagi, setelah ketinggian air di ketel uap no. 1 (ketel uap yang mengalami kecelakaan) normal, ketel uap dinyalakan api. Pada jam 6.10 ketel uap no. 2 dinyalakan. Pada jam 6.20 ketel uap no. 3 dinyalakan. Kemudian satu per satu

dimulai pengoperasian ketiga ketel uap tersebut. Sekitar jam 6.30 oleh karena pembakaran di ketel uap no. 1 mencapai tekanan 7,5 kg/cm<sup>2</sup>, operasi dihentikan. Lalu dilakukan peniupan air dari column dari electrode serta gelas pedoman air (water glass guage). Pada waktu itu diketahui pompa penyedia air hidup dan lamp alarm kekurangan air menyala. Setelah itu, dimulai pengiriman udara dan pengoperasian otomatis. Sekitar jam 6.40, ditemukan pembocoran minyak dari pompa pembakaran. Pompa tersebut segera dimatikan, dan mulai diperbaiki. Pada waktu dilakukan perbaikan, sekitar jam 7.50, dari ketel uap no. 1 kedengaran suara yang tidak normal. pipa uap yang terletak di bagian atas ketel uap api menyala, dan keluar uap dari lubang isap blower. Dengan segera ketel uap tersebut dimatikan, dipadamkan api.

(3) Kerusakan

- (a) Sepanjang pipa api rusak oleh karena tekanan sampai ke dalaman sekitar 700 mm. Pada lokasi yang dekat dengan plat penutup (end plate) depan terdapat lubang (75 x 430 mm). (Lihat foto 2 dan 3).

(b) Bentuk pelat pipa api (Fire tube plate), plat penutup (end plate) depan dan belakang serta plat badan (shell plate) berubah, dan warnanya juga dapat berubah karena suhu tinggi.

(c) Sebagian pembakar tipe tile (burner tile) rusak.

(4) Penyebab kecelakaan

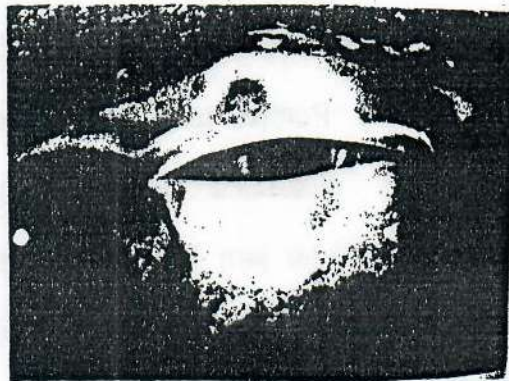


Foto 2 Pipa api yang rusak (dari bagian depan)

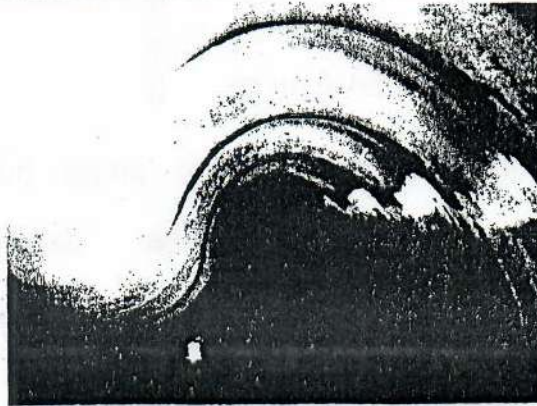


Foto 3 : Pipa api (Fire tube) yang jatuh ke bawah setelah menjadi terbuka. (Foto diambil dari bagian belakang)

- (a) Penyediaan air tidak dilakukan oleh karena suatu penyebab, misalnya arus listrik naik atau lain, magnet switch dari pompa suplay air tidak berfungsi sehingga tidak dapat mengalirkan air.
- (b) Alat pencegah kekurangan air tidak juga berfungsi oleh karena pada jaringan kabel di antara control panel terjadi isolasi yang tidak sempurna dan terjadi hubungan pendek dengan ground phase sehingga kedua jenis alat pencegah kekurangan air, yaitu pelampung maupun jenis electrode, tidak berfungsi. Maka pembakaran diteruskan. Kemudian terjadi kekurangan air.

- (5) Tindakan keselamatan
  - (a) kabel pada ground phase harus diisolasi sempurna sehingga dalam keadaan bagaimanapun termasuk ling-to-ground-fall tidak terjadi hubungan pendek.
  - (b) Dalam kasus ini fungsi alat pencegah kekurangan air hanya diperiksa pada waktu percobaan pengoperasian. Sebaiknya pemeriksaan tersebut dilakukan secara rutin dalam pengoperasian sehari-hari.

#### 4.3. Ledakan gas pada ketel uap pipa api

- (1) Keterangan mengenai ketel uap
  - Luas bidang pemanas : 114 m<sup>2</sup>
  - Tekanan maksimal yang digunakan : 10 kg/cm<sup>2</sup>
  - Bahan bakar ; Solar A
  - Tahun pemasangan : tahun 1984
  - Pemakaian : produksi di pabrik
- (2) Keadaan pada waktu terjadi kecelakaan

Setelah libur akhir/awal tahun, sehari sebelum kecelakaan terjadi mulai dari jam 7 : 30 pengoperasian ketel uap dimulai. Pada hari

tersebut, ketel uap tersebut mulai dioperasikan pada jam 6.30 pagi. Setelah makan siang, pada waktu dimasukkan bahan bakar ke tangki solar yang terletak di ruang bawah tanah, jumlah bahan bakar diukur. Oleh karena masih terdapat sisa bahan bakar sebanyak 1000 little, tidak ditukar dengan tangki cadangan, dan pengoperasian diteruskan. Sekitar jam 2.30, api pembakar mati, dan ketel uap berhenti secara otomatis. Oleh karena diketahui ketel uap mati karena bahan bakar di dalam tangki telah habis, sumber bahan bakar diganti dengan tangki cadangan yang ada di ruang bawah tanah, dan mulai dikirimkan solar ke service tank. Kemudian untuk mengeluarkan udara, switch diganti ke "test", kemudian dipindah ke "fan", "ignite", "pompa pembakaran". Ketika dipindahkan ke "kekurangan bahan bakar" dan menyalakan pembakar utama (main burner), api tidak menyala. Setelah 3 sampai 5 detik, sekali lagi dicoba dioperasikan pada posisi "kekurangan bahan bakar". Pada waktu itu, ketel uap meledak dengan suara keras.

(3) Kerusakan

- (a) Pintu ruang asap bagian belakang menonjol ke keluar sekitar 30 mm. 1 buah baut yang mengikat pintu terputus. Dengan lubang baut lain, mur masuk ke dalam pintu. (Foto 4)
- (b) Dinding sebelah kanan ruang asap belakang menekuk di bagian tengah, dan terdapat celah di antara flange dan pintu.
- (c) Dinding atas ruang asap bagian depan atas, menonjol keluar sekitar 10 mm.
- (d) Horizontal flue semuanya menjadi agak bulat.
- (e) Air duct (sepanjang 4000 mm), sepanjangnya menekuk 10 mm.

(4) Penyebab kecelakaan

Sebelumnya pernah terjadi kehabisan bahan bakar. Pada waktu itu juga, katanya juga dinyalakan api dengan cara yang sama. Sebenarnya pekerjaan untuk membuang udara, dilakukan dalam keadaan kran pompa maupun pemanas ( heater) terbuka.

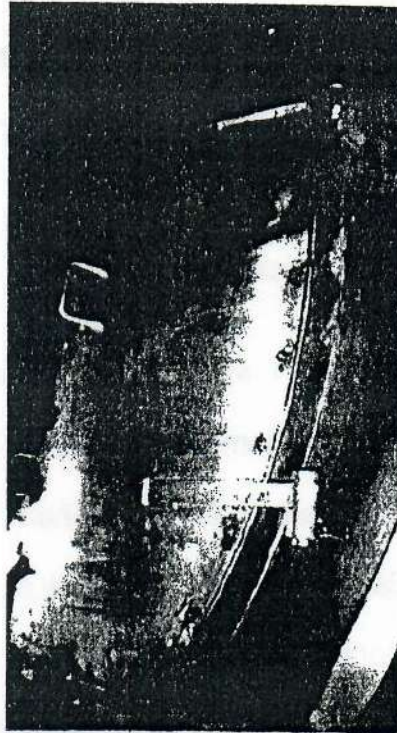


Foto 4 Pintu ruang asap bagian belakang.

Pompa dioperasikan setelah udara dibuang dengan baik. Setelah dicek hydraulic meter tidak berubah banyak, pengoperasian seharusnya dimulai secara otomatis. Untuk pengoperasian otomatis, memerlukan waktu 90 detik untuk satu kali menyalakan api sehingga diperkirakan agar mempersingkat waktu operasi diperkirakan menyalakan api secara manual dalam keadaan purge kurang sempurna.

- (5) Tindakan keselamatan
- (a) Dipasang alârm kekurangan bahan bakar pada tangki penyimpan minyak serta service tank, dan dilakukan penyediaan bahan bakar sebelum habis total.
  - (b) Membuat manual pengoperasian untuk pekerjaan pembuangan udara dari pipa bahan bakar sehingga kesalahan dalam tata pelaksanaan dapat dihindarkan.
  - (c) Diperbaiki sistem agar pada waktu pengoperasian manual detektor api berfungsi dan menghentikan pembakaran.

#### 4.4 kebakaran pada ketel uap once through

- (1) Keterangan mengenai ketel uap

Luas bidang pemanas : 28,5 m<sup>2</sup>

Tekanan maksimal yang digunakan : 10 kg/cm<sup>2</sup>

Bahan bakar : Solar A

Heat carrier : SK oil

Tahun pemasangan : tahun 1987

Penggunaan : Produksi di pabrik

(2) Tekanan pada waktu terjadi kecelakaan

Pada hari tersebut, seperti biasanya ketel uap mulai dioperasikan sekitar jam 8.10 pagi. Pada jam 8.35 dengan perbedaan tekanan di dalam ketel uap terjadi penimpangan sehingga pembakar berhenti. Dengan cara reset, dihidupkan kembali. Pada jam 10.30 pembakar (burner) berhenti lagi. Lalu dilakukan reset kedua kalinya. Jam 11.40, pembakar (burner) berhenti lagi. Dilakukan reset, tetapi api tidak menyala. Jam 12.50, dilaporkan hal tersebut kepada bagian teknisi untuk dilakukan penyelidikan. Dari hasil penyelidikan, diketahui kabel di antara pembakar (burner) dan control panel terbakar. Kabel sementara disambungkan, dan ketel uap coba dinyalakan. Namun tidak berhasil dinyalakan karena relay tidak berfungsi. Setelah relay diganti, dihidupkan kembali. Jam 19.30 ketel uap dimatikan setelah diketahui adanya bagian yang warnanya merah dan kepanasan pada bagian atas bagian luar ketel uap.

### (3) Kerusakan

Koil panas (Heating coil) dari bagian utama ketel uap (ruang pembakaran) seluruhnya menjadi hangus sehingga gas suhu tinggi yang terdapat dari akibat pembakaran tersebut terlalu singkat (short-pass) bagian sirkulasi, kemudian memanaskan casing luar ketel uap. Casing tersebut juga menjadi terlalu panas dan hangus. Bagian coil yang terhangus tidak hanya meleleh tetapi sudah sampai arang. (Foto 5).

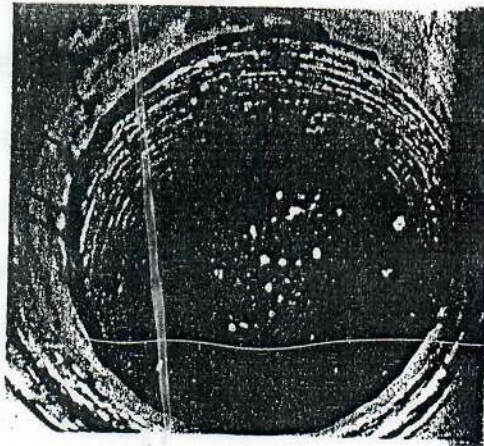


Foto 5 Koil di dalam dapur api hangus sampai menjadi arang

(4) Penyebab kecelakaan

Pembakaran kelihatannya berlangsung dalam keadaan panas yang tidak terbawa (heat carrier) tidak atau sangat sedikit mengalir ke dalam pipa pemanas (heat tube) sehingga mengakibatkan kecelakaan terbakar ini. Penyebab yang kemungkinan menimbulkan hal tersebut adalah sebagai berikut.

- (a) Oleh karena ditidak beres dengan control relay, peringatan pemberhentian dalam keadaan darurat tidak dideteksi sehingga pembakaran diteruskan.
- (b) Cavitation terhadap pompa sirkulasi panas yang terbawa (heat carrier) terjadi sebentar sehingga kecepatan arus menurun.
- (c) Oleh karena turunnya mutu panas yang terbawa (heat carrier), terdapat lumpur (sludge) yang menyumbat sistem 1 col yang terletak pada sistem 3. Dengan demikian, ketel uap berhenti sebagai akibat penurunan perbedaan tekanan. Namun operator berkali-kali

menghidupkan kembali sehingga terjadi kerusakan.

- (d) Pada waktu disambungkan kabel di antara control panel dan pembakar (burner) secara sementara, penyambungan tersebut dilakukan dengan diabaikan inter-lock.

(5) Tindakan keselamatan

- (a) Ditambah 1 unit switch yang mengatur perbedaan tekanan. Dengan demikian perbedaan tekanan dapat diawasi secara ganda.
- (b) Dipasang flow meter untuk panas yang tidak terbawa (heat carrier).
- (c) Diadakan analisa oil heat carrier, dan digantikan secara dini.
- (d) Penyambungan kabel sementara berkecenderungan mengakibatkan kecelakaan sehingga sebisa mungkin dihindarkan.
- (e) Hal-hal yang diperiksa pada waktu inspeksi sehari-hari serta inspeksi bulanan ditinjau kembali. Test pencegahan pembakaran

dilakukan dengan baik. Diadakan pendidikan bagi operator ketel uap.

#### 5. Kasus kecelakaan ketel uap di A.S

Berikut adalah kutipan dari laporan mengenai kecelakaan ketel uap yang diterbitkan oleh Harford Steam Ketel uap Inspection & Insurance Co. yang memiliki pansa pasar terbesar di A.S. dibidang asuransi ketel uap.

Kecelakaan yang dianalisa di dalam laporan tersebut terjadi selama 10 tahun mulai dari April 1985 sampai dengan April 1994. 15383 jumlah kasus dianalisa.

Table 4 Jumlah Kecelakaan Menurut Jenis Ketel Uap  
(A.S. : 1985/4 – 1994/4)

Jenis ketel uap	Ketel uap air hangat besi tuang	Besi tuang uap	Pipa api air hangat	Pipa api uap (dibawah 15 PSI)	Pipa asap tube	Pipa gas uap (atas 15 PSI)	Pipa air	Jumlah
Jumlah kasus kecelakaan	2388	5763	1127	1594	1588	979	1944	15383
%	15.5	37.5	7.3	10,4	10.3	6.4	12.6	100
	Besi tuang	53.0						

Tabel 5 Bentuk Kecelakaan Ketel Uap menurut jenis Ketel Uap  
(A.S. : 1985/4 – 1994/4)

Jenis ketel uap	Ketel uap air hangat besi tuang	Besi tuang uap	Fire tube air hangat	Fire tube uap (dibawah 15 PSI)	Flue fire tube	Fire tube uap (atas 15 PSI)	Pipa air	Jumlah
Peah	4.6	3.8	5.5	4.8	4.5	8.6	9.0	5.2
Mem-bengkak	1.4	0.4	2.0	4.6	3.1	8.9	3.7	2.3
Mem-bengkak (keku-rangan air)	2.9	7.5	2.8	31.9	19.0	19.0	22.3	22.8
Rusak/ Terbuka	0.3	0.1	0.4	0.5	3.1	0.8	0.2	0.5
Retak	76.3	77.9	72.1	35.0	54.3	33.2	31.6	61.7
Berubah bentuk	0.4	0.4	1.5	2.2	2.3	2.5	4.3	1.5
Ledakan gas di dapur api	0.5	0.2	0.4	1.1	0.5	0.6	1.6	0.6
Longgar	0.7	0.5	3.1	6.8	6.6	8.5	4.2	3.0
Putus	1.5	0.3	1.1	0.9	1.6	1.6	7.9	1.8
Lain- lain	11.5	8.8	11.2	12.3	4.9	16.3	15.5	10.7
Jumlah	100.1	99.9	100.1	100.1	99.9	100.0	100.3	100.1

### 5.1. Komentaar Ahli-ahli Ketel Uap

Tabel 5 menunjukkan kecenderungan yang sama dengan analisa selama ini (yang dilakukan pada tahun 1985) kecuali satu bagian. Kekecualian tersebut adalah kecelakaan yang disebabkan retakan pada ketel uap besi tuang. Sebagian besar dari penyebab kecelakaan pada ketel uap besi tuang adalah tetap retakan. Meskipun demikian terdapat keturunan 10% dengan ketel uap besi tuang yang menggunakan air hangat (86% menurut penelitian pada tahun 1985 sedangkan menurut hasil penelitian kali ini menjadi 76%) serta keturunan 5% dengan ketel uap jenis tersebut yang menggunakan uap (83% menurut penelitian pada tahun 1985 sedangkan menurut hasil penelitian kali ini menjadi 78%). Meskipun terjadinya penurunan jumlah kecelakaan tersebut di atas, proporsi kecelakaan dengan ketel uap besi tuang secara keseluruhan di dalam kecelakaan dengan segala jenis ketel uap meningkat dari 46% pada tahun 1985 ke 53%. Oleh karena itu, perlu mengambil suatu tindakan keselamatan untuk mencegah kecelakaan dengan ketel uap besi tuang yang disebabkan oleh retakan maupun

seluruh jenis kecelakaan dengan ketel uap besi tuang pada umumnya.

Tabel 6 juga menunjukkan bahwa terhimpunnya kerak (scale) maupun kekurangan air (masalah pengendalian ketinggian air) menjadi penyebab utama kecelakaan pada ketel uap besi tuang maupun dengan jenis lain. Penyebab kecelakaan lain yang menonjol adalah thermal shock dengan ketel uap yang menggunakan air hangat. Thermal shock terjadi pada seksi dari besi tuang atau pipa air (fire tube) bila air dingin disalurkan sekaligus dari ujung bagian pengumpul air hangat. Dengan diadakan pengendalian penyediaan air atau penyesuaian dengan katup, perbedaan suhu yang mendadak terjadi dapat dihindari.

## 5.2. Penjelasan tambahan

Selain komentar Ahli-ahli Ketel Uap, ditambahkan penjelasan sebagai berikut. Gambar 16 adalah grafik dari Tabel 4. Di antara seluruh kecelakaan, 53% terjadi dengan ketel uap besi tuang termasuk ketel uap besi tuang yang menggunakan uap maupun air hangat. Hal tersebut sama dengan keadaan kecelakaan di Indonesia.

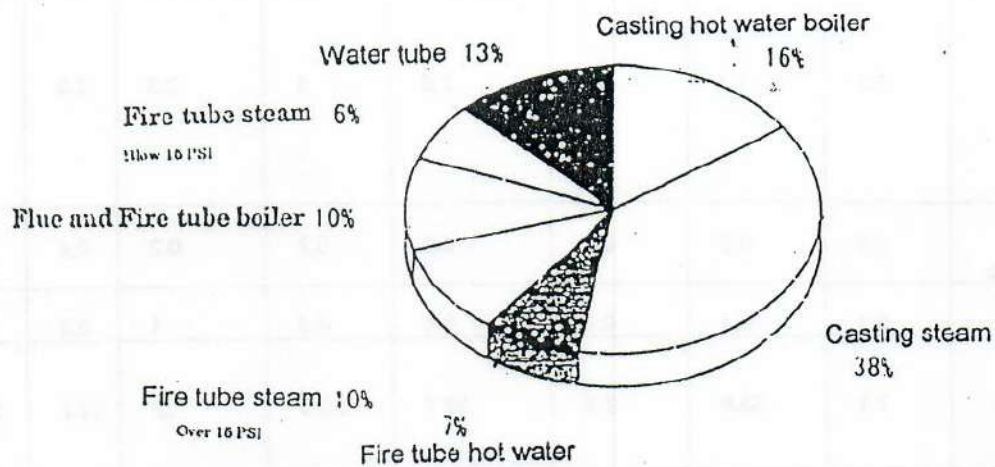
Menurut bentuk kecelakaan yang dijelaskan pada Tabel 5, dengan semua jenis ketel uap retakan paling menonjol, atau 61,7%. Retakan sangat sering terjadi tidak hanya dengan ketel uap besi tuang tetapi juga dengan jenis lain. Sebab terjadinya retakan adalah 54,3% dengan ketel uap model pipa api. Penyebabnya tidak diketahui. Ledakan didalam dapur api (ledakan gas) banyak 0,6%. Penyebab ini juga tidak diketahui. Gambar 17 menjelaskan persentase bentuk kecelakaan. Sangat menarik bila gambar 17 dibandingkan dengan Gambar 5 yang menunjukkan keadaan di Indonesia.

Menurut penyebab kecelakaan pada Tabel 6, seperti dikomentari di atas, yang menonjol adalah kekurangan air, atau 22,7%. Terutama dengan ketel uap besi tuang yang menggunakan uap dan ketel uap model pipa api tekanan rendah (dibawah 15 PSI), kasus kekurangan air melebihi 30%. Kecelakaan yang disebabkan kerak adalah 19,9%, menjadi penyebab utama dengan ketel uap model pipa api dan pipa air. Di antara penyebab lain-lain, korosi pada ketel uap pipa air (water tube) sangat menonjol, atau 13,4%.

Tabel 6 Jumlah Kecelakaan Menurut Jenis Ketel Uap  
(A.S. : 1985/4 – 1994/4)

	Ketel uap air hangat besi tuang	Besi tuang uap	Fire tube air hangat	Fire tube uap (dibawah 15 PSI)	Flue fire tube	Fire tube uap (atas 15 PSI)	Pipa air	Jumlah
Alat pembakaran bahan bakar	1.5	0.7	2.7	1.6	0.9	0.9	2.1	1.3
Masalah sirkulasi	1	0.6	1.5	0.4	0.6	0.7	1.2	0.8
Masalah setting alat kontrol	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0	0.3	0.1
Pengendalian yang tidak sesuai	4.2	2.1	2.4	3.9	3.9	5.1	7.9	3.7
Korosi	4.5	5.9	14	11	5.4	11.1	13.4	8
Masalah Rancangan	9.8	3.6	2.6	1.9	3.4	1.5	2.9	4.1
Faktor luar	1.2	0.6	1.1	2.3	1.1	1.5	1.9	1.2
Pembekuan	5.6	2.2	3	5	4.2	6.8	6.6	4.1
Mutu bahan (tidak termasuk besi tuang)	0.5	0.3	1.2	0.4	0.9	1.1	1.2	0.6
Kesengajaan	0.2	0.2	0	0.7	0.3	0.5	0.5	0.3
Overheating	0.7	1	1.3	0.6	1.7	1	0.7	0.9
Kran keselamatan (safety valve)	1.3	0.1	0.8	0.4	0.4	0.4	0.6	0.5
Terhimpunnya scale	19.2	20.7	16	16.2	24.1	17.9	21.3	19.9
Pengaruh suhu panas	11.1	5	23.7	3.3	9.9	5.5	4.8	7.7

Masalah dengan menghi- langkan- nya heat- stress	3.3	1.7	5.3	2.6	6	3.3	2.8	3
Masalah fondasi/ penyangga	0.5	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2
Getaran	0.4	0.1	0.4	0.5	0.8	1	0.6	0.4
Pengen- dalian ketinggian air (keku- rangan air)	7.1	33.8	2.8	32.7	20.6	22	14.7	22.7
Masalah las	0.2	0.1	3.9	3	3.7	2.3	1.9	1.4
Lain-lain	27.6	21.1	17.1	13.2	11.7	17.1	14.3	18.9
Jumlah	99.9	100.1	100	100.1	99.9	99.8	100. 1	99.8



Gambar 1 Persentase jumlah kasus kecelakaan menurut jenis ketel uap (A.S.)

## 6 Kesimpulan

Hasil analisa mengenai kecelakaan ketel uap dijelaskan. Jumlah kasus kecelakaan ketel uap tidak berkecenderungan meningkat. Namun masih terus menerus terjadi dengan tingkat yang tetap sama. Secara keseluruhan di antara kecelakaan ketel uap, setengahnya adalah retakan pada ketel uap besi tuang, kemudian disusul oleh kasus pemecahan pipa air. Kecelakaan ledakan gas serta kekurangan air juga tetap terjadi dengan persentase yang sama. Dari segi penyebab kecelakaan, kecuali dengan ketel uap besi tuang, penyebab utama berkaitan dengan tata pelaksanaan operasi atau kurangnya pemeliharaan. Oleh karena itu, sangat penting ditingkatkan kesadaran para operator ketel uap maupun pelaksanaan pemeliharaan dalam

pengoperasian sehari-hari. Terutama pada akhir-akhir ini dalam keadaan ketel uap dioperasikan secara otomatis, kerusakan pada pengendalian otomatis atau ketidak beresan pemeliharaan menunjukkan kecenderungan terjadinya kecelakaan skala besar. Tidak boleh terlalu tergantung pada alat pengendalian otomatis. Pada saat ini sangat diperlukan sekali lagi meningkatkan kesadaran pada proses pengoperasian dengan selamat.

Semoga modul ini bermanfaat untuk mencegah terjadinya kecelakaan ketel uap pada masa mendatang.