

## PENGHEMATAN ENERGI PADA SISTEM BOILER

Oleh : Sonden Winarto

### ABSTRAK

*Uap digunakan sebagai media pembawa energi pada pusat pembangkit daya maupun untuk keperluan pemanasan di industri merupakan alasan utama mengapa uap hadir dan diperlukan dalam berbagai kegiatan masyarakat.*

*Uap sebagai media pembawa energi sering digunakan karena sifatnya yang menguntungkan. Menghemat energi menjadi menarik bagi masyarakat industri karena fraksi biaya energi dalam biaya operasi cukup tinggi. Penghematan energi sebesar 10 -20 % mudah diperoleh dengan cara perbaikan prosedur operasi dan pemeliharaan. Penghematan energi yang lebih besar hingga 20 – 30 % dapat diperoleh jika dilakukan perbaikan atau modifikasi.*

*Fakta di beberapa perusahaan menunjukkan bahwa biaya energi tidak terkontrol dengan baik dan pasrah saja terhadap keadaan yang terjadi. Kunci sukses dari management energi adalah adanya sistem pengelolaan energi.*

### I. PENDAHULUAN

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam*. Air panas atau *steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses.

Jika air di didihkan sampai menjadi *steam*, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

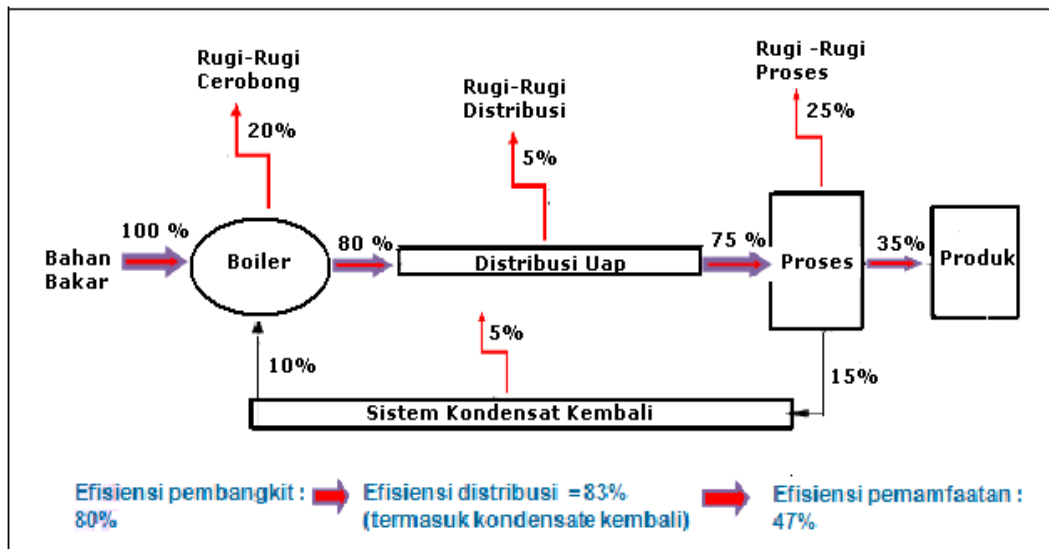
Sistem boiler terdiri dari : sistem air umpan, sistem *steam* dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem *steam* mengumpulkan

dan mengontrol produksi *steam* dalam boiler. *Steam* dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna.

Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

Air yang disuplai ke boiler untuk diubah menjadi *steam* disebut air umpan. Dua sumber air umpan adalah : (1) Kondensat atau *steam* yang mengembun yang kembali dari proses dan (2) Air makeup (air baku yang sudah diolah) yang harus diumpankan dari luar ruang boiler dan plant proses. Untuk mendapatkan efisiensi boiler yang lebih tinggi, digunakan economizer untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas

buang, secara tipikal efisiensi keseluruhan sistem uap adalah sebagai berikut :



Gambar 1 : Rugi-rugi Energi Sistem Distribusi Uap Tipikal

### a. TUJUAN PENULISAN

Tulisan ini diharapkan bermanfaat bagi petugas energi atau operator yang ingin memahami prinsip - prinsip penghematan energi pada sistem Boiler.

### b. BATASAN MASALAH

Tulisan ini akan dibatasi pada bagaimana melakukan efisiensi pada sistem Boiler.

## II. FAKTOR BERPENGARUH PADA EFISIENSI BOILER

Efisiensi suatu boiler berkaitan dengan factor - faktor operasi seperti : efisiensi pembakaran dan kualitas manajemen air umpan (feed water) boiler. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing faktor operasi tersebut terhadap efisiensi boiler.

### Efisiensi Pembakaran

Manajemen pembakaran pada boiler dimaksudkan untuk mendapatkan kondisi pembakaran suatu bahan bakar yang

optimum. Kegiatan utama dalam manajemen pembakaran adalah :

- Menjaga agar pembakaran selalu berada pada ratio udara rendah (low air ratio combustion)
- Menjaga agar kapasitas burner beroperasi sesuai dengan beban boiler;
- Memelihara (maintenance) burner.

### 2.5.1.1.1.1 Ratio udara pembakaran

Pembakaran sempurna dapat terjadi bilamana jumlah udara pembakaran yang dipasok ke ruang bakar berlebih dari kebutuhan teoritis (*stoichiometric*). Namun apabila udara lebih (*excess air*) tersebut dibuat terlalu banyak maka jumlah gas buang (*exhaust gas*) hasil pembakaran menjadi besar dan akibatnya energi sensibel gas buang atau biasa disebut energi hilang ke stack (cerobong) jumlahnya menjadi besar.

Dalam praktek sehari-hari operator umumnya mengartikan pembakaran tidak sempurna dengan munculnya asap hitam pada cerobong. Asap hitam sering dipahami sebagai pembakaran tidak sempurna atau pemborosan bahan bakar, sebaliknya gas buang yang tampak bersih

(tanpa asap/karbon) diartikan sebagai pembakaran sempurna.

Kenyataan ini menunjukkan bahwa pengertian sesungguhnya dari efisiensi pembakaran dan panas sensibel gas pembakaran melalui cerobong belum dipahami secara benar oleh kalangan praktisi. Energi sensibel gas pembakaran sebagai fungsi dari suhu dan *excessair* haruslah dipahami secara benar jika ingin menerapkan konsep efisiensi dalam sistem pembakaran yang ada.

Bila temperatur *stack gas* keluar dari boiler dapat dibuat rendah dan *persentase excess air* pada udara pembakaran dibuat sesedikit mungkin, berarti kita berhasil mengurangi rugi-rugi energi melalui gas buang. Dengan kata lain efisiensi pembakaran meningkat menjadi optimal.

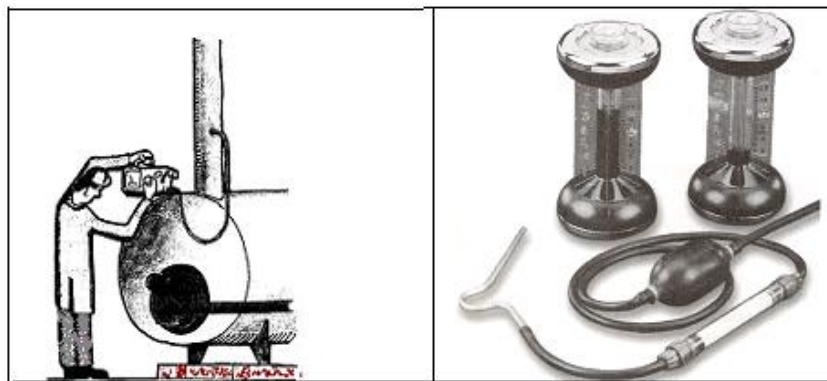
Uraian di atas pada hakekatnya ingin menjelaskan bahwa energi pada suatu sistem pembakaran dapat dihemat dengan

cara mudah; yaitu dengan mengurangi suhu gas buang dan persentase udara lebih. Udara lebih atau *excessair* sering dinyatakan dengan rasio udara. Rasio udara adalah perbandingan antara udara pembakaran aktual dengan udara pembakaran teoritis.

Rasio udara dapat diketahui dengan cara mengukur kadar oxygen ( $O_2$ ) pada gas buang dengan *gas analyzer* dan data hasil pengukuran digunakan untuk menghitung rasio udara dengan persamaan berikut :

$$\text{RasioUdara} = 21 / (21 - O_2\%)$$

Prosentase oxygen ( $O_2$ ) dalam gas buang diukur dengan menggunakan *gas analyzer portable* yang saat ini telah tersedia di pasaran dengan harga yang terjangkau (gambar 2). Kedua parameter operasi (rasio udara dan suhu gas buang) dalam preteknya dengan mudah dapat dikontrol dan hasilnya segera dapat diperoleh.



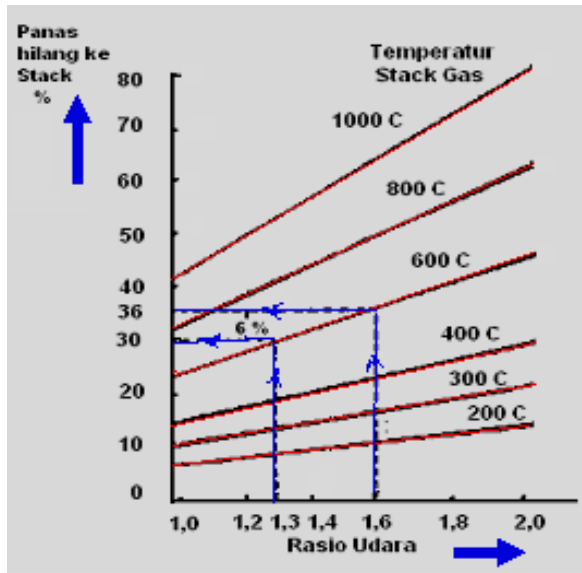
Gambar 2 : gas analyzer portable

#### Contoh :

Suhu gas buang hasil pengukuran pada *stack gas* menunjukkan  $600\text{ }^\circ\text{C}$  dan hasil pengukuran komposisi gas buang ( $O_2$  &  $CO_2$ ) menghasilkan rasio udara adalah 1,6, dari grafik 1 energi *sensibel* yang terdapat pada gas buang ke cerobong sebesar 36% dari energi input.

Jika ratio udara diturunkan misalnya dari 1,6 menjadi 1,3 maka jumlah energi hilang melalui gas buang akan turun dari 36% menjadi 30%. Ini berarti dengan hanya pengurangan ratio udara dari 1,6 menjadi 1,3 mengakibatkan energi terbuang melalui cerobong berkurang sebesar  $(36 - 30)\%$  atau sama dengan 6%.

Berkurangnya rugi-rugi energi melalui cerobong berarti penghematan bahan bakar pada boiler sebesar :  $\frac{6}{0.85} = 7$  %, angka 0,85 adalah efisiensi boiler.



Grafik 1 : Panas Hilang ke Cerobong vs Rasio Udara

Perhatikanlah kembali grafik 1, semakin rendah temperatur gas pembakaran semakin sedikit energi terbuang, demikian juga rasio udara, semakin rendah persentase ratio udara semakin sedikit energi yang terbuang, atau dengan kata lain efisiensi pembakaran semakin meningkat.

Secara teoritis penghematan maksimal terjadi pada rasio udara sama dengan 1, tetapi dalam praktek, apabila rasio udara dibuat 1, maka bahan bakar cenderung tidak terbakar sempurna yang ditandai dengan munculnya CO dan atau asap hitam dalam gas buang seperti tampak pada grafik 1.

Penurunan rasio udara yang terlalu banyak akan berakibat menurunkan efisiensi dan disamping itu juga cenderung menimbulkan munculnya gas CO pada gas buang yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu rasio udara harus dijaga selalu berada pada tingkat optimal seperti tertera pada tabel 1.

Tabel 1 : Excess Air dan O<sub>2</sub> Optimum pada Gas Buang berbagai Bahan Bakar

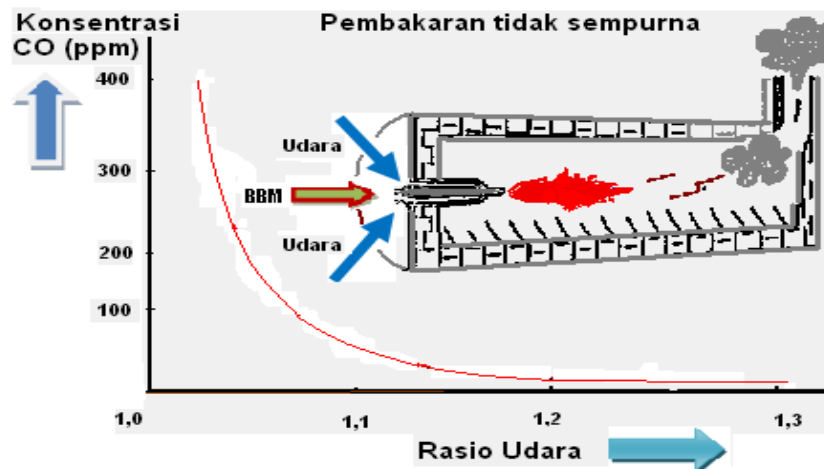
<b>Bahan Bakar</b>	<b>Optimum Excess Air %</b>	<b>Optimum O<sub>2</sub> pada Stack Gas %</b>
Batubara	20 – 25	4 – 4,5
Biomassa	20 – 40	4 - 6
Stoker firing	25 – 40	4,5 – 6,5
BBM	5 – 15	1 - 3
Gas Bumi/LPG	5 – 10	1 - 2
Black Liquor	5 – 10	1 - 2

Pembakaran optimal didapat dengan mengatur rasio udara yaitu mengatur perbandingan udara dan bahan bakar. Dalam praktek pengaturan rasio udara pada sistem pembakaran/*burner* harus dilakukan secara perlahan-lahan dengan berpedoman pada hasil monitoring kadar

O<sub>2</sub> dan index asap (karbon) gas buang yang ditunjukkan pada *gas analysis*.

Bila hasil pengukuran pada gas buang menunjukkan adanya asap (karbon) atau CO, ini berarti batas rasio udara optimum telah dilewati, sehingga pengurangan ratio udara pembakaran tidak mungkin lagi dilakukan ke tingkat yang lebih rendah.

Dengan kata lain batas ratio udara optimum telah dilewati sebagaimana tampak pada grafik 2.



Grafik 2 : Pembakaran tidak sempurna terjadi pada rasio udara rendah

### Jalaga (Boiler Soot)

Jelaga timbul pada sisi api bidang pemanas boiler menghalangi perpindahan panas. Jika perpindahan panas ke air boiler berkurang, panas yang terbawa gas buang ke cerobong menjadi bertambah seperti tampak pada table 2, jelaga hanya setebal 1/32 inch atau 0,78 mm akan mengurangi efisiensi boiler sekitar 2.5 %. Bahan deposit dari bahan bakar umumnya terdiri dari Jalaga hitam. Untuk boiler kecil, bahan deposit ini mudah dibersihkan dengan menggunakan sikat.

Bahan bakar kualitas rendah seperti *residual oil* akan menimbulkan endapan atau deposit pada sisi gas yang lebih serius. Bahan bakar padat seperti batubara dan kayu menghasilkan deposit berbasis *ash slag* dan jika tidak segera dibersihkan akan menjadi meleleh dan menjadi lapisan *isolasi glas* yang sulit disingkirkan.

Pada boiler pipa api deposit dapat dibersihkan dengan uap bertekanan tinggi. *Soot blowing* dengan menggunakan uap dilakukan secara regular paling tidak sekali setiap *shift*. Penyebab jelaga yang paling umum adalah *excess air* yang terlalu rendah, *burner* rusak/kotor atau persiapan bahan bakar yang salah.

Dengan pembersihan teratur permukaan bidang pemanas boiler dapat mengurangi biaya operasi boiler. Untuk bahan bakar gas dengan *burner* yang baik jelaga tidak terjadi namun demikian pipa pemanas boiler tetap harus diinspeksi dan dibersihkan paling tidak setahun sekali. Penurunan efisiensi boiler akibat Soot Deposits dapat dilihat pada tabel 2.

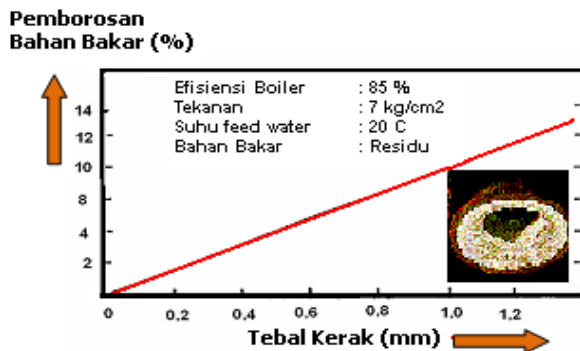
Tabel 2 : Penurunan efisiensi boiler akibat Soot Deposits

III.2.6 Penurunan Efisiensi Boiler akibat Soot Deposits		
Boiler Efficiency Reduction (%)		
Soot Layer Thickness, inches		
1/32	1/16	1/8
2.5%	4.5%	8.5%

### Manajemen Air Umpan Boiler

Air umpan (feed water) boiler umumnya mengandung  $\text{CaCO}_3$  atau  $\text{CaCO}_4$ .

Adanya zat tersebut menyebabkan permukaan pipa pemanas maupun *drum boiler* cenderung terbentuk kerak dan bagian bawah *drum boiler* akan muncul endapan berupa lumpur.



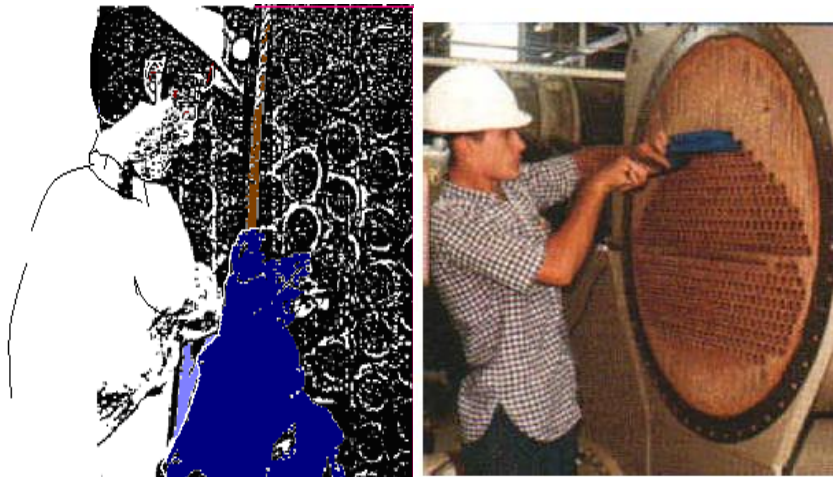
Grafik 3 : Pemborosan Bahan bakar vs kerak pada sisi air pipa boiler

Bila keadaan ini berlangsung lama, maka jumlah kerak dan lumpur semakin bertambah sehingga menghalangi proses perpindahan panas dari gas pembakaran ke air/uap. Jika kondisi ini terjadi meskipun manajemen pembakaran telah berhasil diterapkan, maka efisiensi energi optimal

pada boiler tidak dapat terealisasi. Pada grafik 3 tampak hubungan antara tebal kerak dengan pemborosan energi.

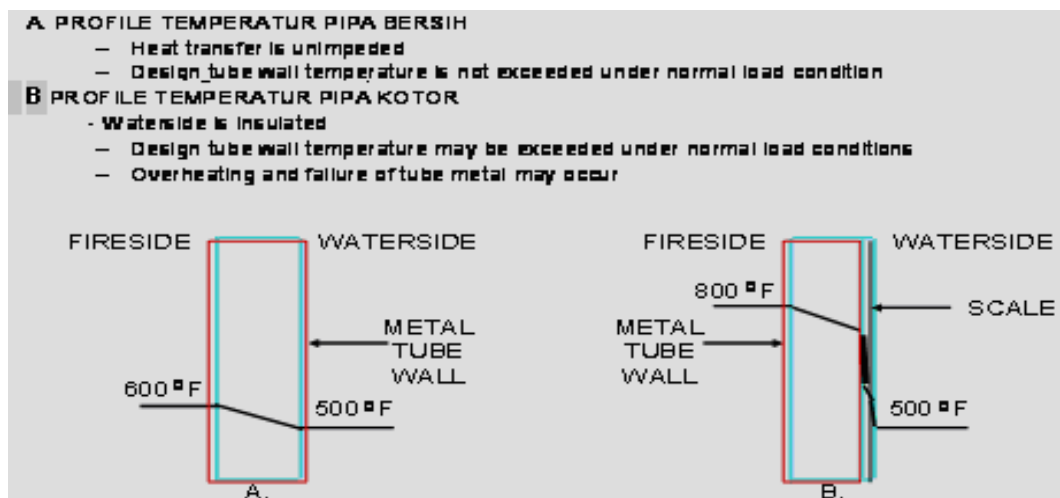
Semakin tebal kerak maka semakin besar konsumsi bahan bakar. Untuk itu pemeliharaan/pembersihan pada sisi air boiler perlu dilakukan misalnya dengan cara mekanis maupun dengan zat kimia (lihat gambar 3).

Pengaruh kerak terhadap proses perpindahan panas (gambar 4) terlihat perbedaan antara pipa yang bersih (A) dan pipa yang berkerak (pipa B), dimana Pipa A mampu menyalurkan panas 600 °C menjadi 500 °C terjadi kehilangan panas 100 °C, sedangkan pipa B menyalurkan panas 800 °C menjadi 500 °C terjadi kehilangan panas 300 °C.



Gambar 3 : Pemeliharaan Boiler Untuk Meningkatkan Efisiensi





Gambar 4 : Pengaruh kerak terhadap proses perpindahan panas

Timbulnya kerak dan lumpur di dalam boiler dapat dicegah dengan cara melunakkan terlebih dahulu air umpan yang dikenal dengan *water softener*. Proses air menjadi uap pada boiler menyebabkan kotoran seperti  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CaCO}_4$  terbentuk, zat/kotoran ini tidak ikut menguap tetapi tertinggal dan konsentrasinya bertambah terus dalam air boiler.

Konsentrasi kotoran yang semakin tinggi harus dihindari agar kerak tidak terbentuk pada permukaan boiler. Menghindari peningkatan konsentrasi kotoran adalah dengan pengurasan atau *Blowdown* boiler.

*Blowdown* adalah tindakan pengurasan kotoran/endapan dari dalam boiler, tetapi pengurasan ini hendaknya dilakukan sesuai keperluan, karena bila jumlah *Blowdown* berlebih maka energi hilang akan bertambah melalui *Blowdown*. Jumlah *Blowdown* diketahui dari kualitas air umpan dan air boiler, oleh karena itu air boiler harus dianalisa secara periodik.

Kualitas air boiler ditentukan oleh pembuat boiler sebagai *standard operating prosedur* yang harus diterapkan. Kualitas air umpan boiler dapat dihitung dengan mengetahui konsentrasi *chlorides* ( $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CaCO}_4$ )

di dalam air umpan/boiler atau dengan mengukur konduktivitas electric air boiler tersebut. Jumlah *Blowdown* dihitung dari konsentrasi *chlorides* atau *konduktivitas electric* yang dibolehkan dalam air umpan adalah sebagai berikut :

$$X = \frac{a}{b} \times 100\% \quad \text{----- 1)}$$

$X$  = Jumlah *Blowdown* (%).

$a$  = Konsentrasi chlorides/konduktivitas electric dalam air umpan boiler (TDS air umpan).

$b$  = Selisih konsentrasi chlorides/konduktivitas electric air boiler yang diizinkan dan air umpan (TDS yang diijinkan – TDS air umpan boiler).

*Blowdown* dinyatakan dalam persen air umpan (%), sehingga dalam periode tertentu dapat dihitung berdasarkan laju aliran air umpan boiler dikalikan dengan harga  $X$  dari persamaan -----1). Kesalahan dalam pengelolaan air boiler dapat berakibat fatal sebagaimana tampak pada gambar 5.



Gambar 5 : Akibat manajemen air boiler tidak sesuai – kecelakaan fatal

### III. PENUTUP

Tulisan ini diharapkan dapat memberikan gambaran secukupnya tentang penghematan pada sistem boiler, sehingga bermanfaat bagi pengguna Boiler.

Diharapkan tulisan ini dapat memberikan sumbangan pada program penghematan

energi pada boiler dan dapat disempurnakan lagi dengan masukan-masukan dari pembacanya.

Kritik dan saran yang membangun dari para pembaca sangat membantu dalam penyempurnaan tulisan ini diwaktu mendatang.

### DAFTAR PUSTAKA

A. J. Glassman, 1994, *Turbine Design and Application*, National Aeronautics and Space Administration Washington, DC 20546.

B.H. Jennings & W.L. Rogers, 1953, *Gas Turbine Analysis And Practice*.

Cross, W., *The Code : An Authorized History of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code*, American Society of Mechanical Engineers, New York, New York, 1990.

Greene, A.M., *History of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code*, American Society of Mechanical Engineers, New York, New York, 1995.

Heinz, B. and Singh, M., *Steam Turbines – Design, Applications and Rerating*, 2nd Edition, McGraw Hill, 2009.

Tony Giampaolo, MSME, PE, 2003, *The Gas Turbine Handbook: Principles and Practices*, 3<sup>rd</sup> edition, by The Fairmont Press. Inc. 700 Indian Trail, Lilburn, GA 30047.