

# BOILER & PEMANAS FLUIDA TERMIS

1. PENDAHULUAN .....	1
2. JENIS BOILER .....	2
3. PENGKAJIAN BOILER .....	9
4. PELUANG EFISIENSI ENERGI.....	26
5. DAFTAR PERIKSA OPSI.....	31
7. REFERENSI.....	41

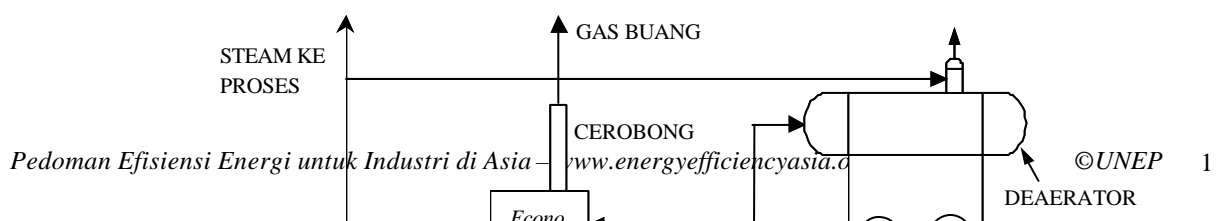
## 1. PENDAHULUAN

Bagian ini menjelaskan secara singkat tentang Boiler dan berbagai alat pembantunya dalam Ruang Boiler.

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 dididihkan 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 dirubah 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.



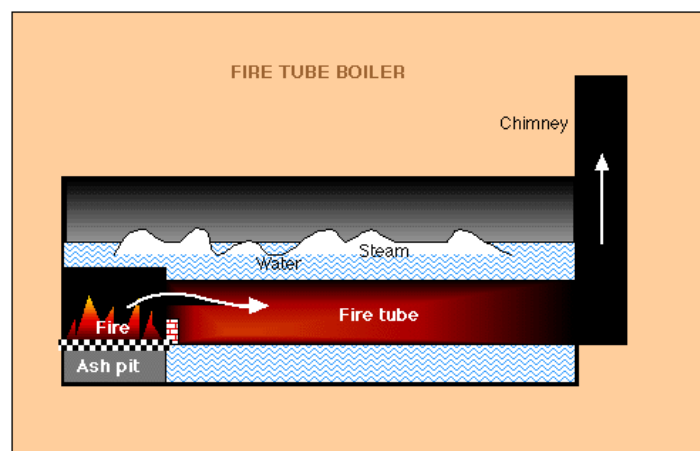
Gambar 1. Diagram skematis Ruang Boiler

## 2. JENIS BOILER

Bagian ini menerangkan tentang berbagai jenis boiler: *Fire tube boiler*, *Water tube boiler*, Paket boiler, *Fluidized bed combustion boiler*, *Atmospheric fluidized bed combustion boiler*, *Pressurized fluidized bed combustion boiler*, *Circulating fluidized bed combustion boiler*, *Stoker fired boiler*, *Pulverized fuel boiler*, *Boiler pemanas limbah (Waste heat boiler)* dan and Pemanas fluida termis.

### 2.1 Fire Tube Boiler

Pada *fire tube boiler*, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan boiler ada didalam *shell* untuk dirubah menjadi steam. *Fire tube boilers* biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relative kecil dengan tekanan steam rendah sampai sedang. Sebagai pedoman, *fire tube boilers* kompetitif untuk kecepatan steam sampai 12.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg/cm<sup>2</sup>. *Fire tube boilers* dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar *fire tube boilers* dikonstruksi sebagai “paket” boiler (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar.



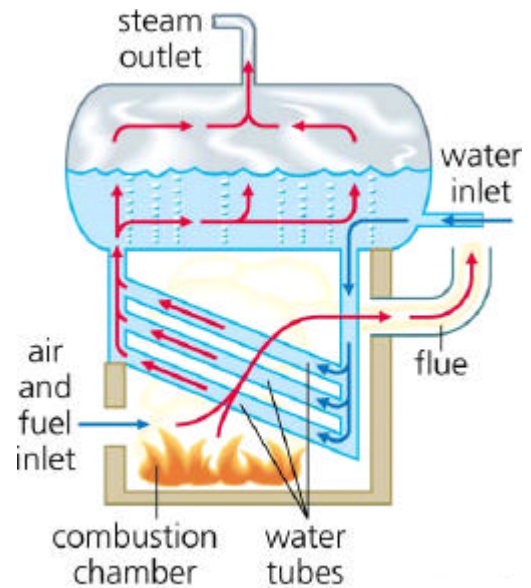
## 2.2 Water Tube Boiler

Pada *water tube boiler*, air umpan boiler mengalir melalui pipa-pipa masuk kedalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakar membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Boiler ini dipilih jika kebutuhan steam dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus boiler untuk pembangkit tenaga.

*Water tube boiler* yang sangat modern dirancang dengan kapasitas steam antara 4.500 – 12.000 kg/jam, dengan tekanan sangat tinggi. Banyak *water tube boilers* yang dikonstruksi secara paket jika digunakan bahan bakar minyak bakar dan gas. Untuk *water tube* yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket.

Karakteristik *water tube boilers* sebagai berikut:

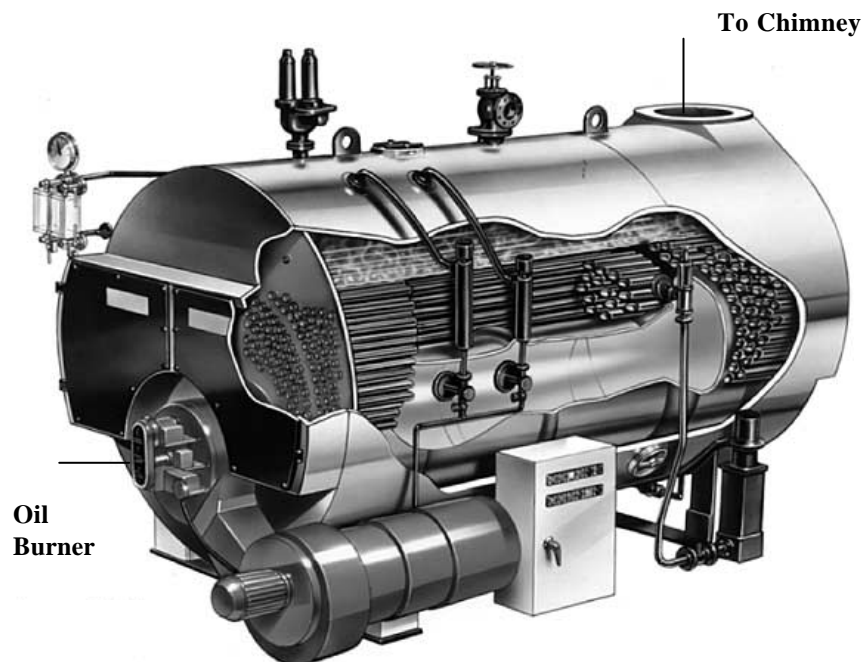
- *Forced, induced* dan *balanced draft* membantu untuk meningkatkan efisiensi pembakaran
- Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari *plant* pengolahan air.
- Memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi.



**Gambar 3. Diagram Sederhana Water Tube Boiler** (YourDictionary.com)

## 2.3 Paket Boiler

Disebut boiler paket sebab sudah tersedia sebagai paket yang lengkap. Pada saat dikirim ke pabrik, hanya memerlukan pipa steam, pipa air, suplai bahan bakar dan sambungan listrik untuk dapat beroperasi. Paket boiler biasanya merupakan tipe shell and tube dengan rancangan *fire tube* dengan transfer panas baik radiasi maupun konveksi yang tinggi.



**Gambar 4. Jenis Paket Boiler 3 Pass, bahan bakar Minyak** (Spirax Sarco)

Ciri-ciri dari *packaged boilers* adalah:

- Kecilnya ruang pembakaran dan tingginya panas yang dilepas menghasilkan penguapan yang lebih cepat.
- Banyaknya jumlah pipa yang berdiameter kecil membuatnya memiliki perpindahan panas konvektif yang baik.

- Sistem *forced* atau *induced draft* menghasilkan efisiensi pembakaran yang baik.
- Sejumlah lintasan/*pass* menghasilkan perpindahan panas keseluruhan yang lebih baik.
- Tingkat efisiensi termisnya yang lebih tinggi dibandingkan dengan *boiler* lainnya.

Boiler tersebut dikelompokkan berdasarkan jumlah *pass* nya – yaitu berapa kali gas pembakaran melintasi boiler. Ruang pembakaran ditempatkan sebagai lintasan pertama setelah itu kemudian satu, dua, atau tiga set pipa api. Boiler yang paling umum dalam kelas ini adalah unit tiga *pass*/ lintasan dengan dua set *fire-tube*/ pipa api dan gas buangnya keluar dari belakang boiler.

## **2.4 Boiler Pembakaran dengan *Fluidized Bed* (FBC)**

Pembakaran dengan *fluidized bed* (FBC) muncul sebagai alternatif yang memungkinkan dan memiliki kelebihan yang cukup berarti dibanding sistem pembakaran yang konvensional dan memberikan banyak keuntungan – rancangan boiler yang kompak, fleksibel terhadap bahan bakar, efisiensi pembakaran yang tinggi dan berkurangnya emisi polutan yang merugikan seperti SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub>. Bahan bakar yang dapat dibakar dalam boiler ini adalah batubara, barang tolakan dari tempat pencucian pakaian, sekam padi, bagas & limbah pertanian lainnya. Boiler *fluidized bed* memiliki kisaran kapasitas yang luas yaitu antara 0.5 T/jam sampai lebih dari 100 T/jam.

Bila udara atau gas yang terdistribusi secara merata dilewatkan keatas melalui *bed* partikel padat seperti pasir yang disangga oleh saringan halus, partikel tidak akan terganggu pada kecepatan yang rendah. Begitu kecepatan udaranya berangsur-angsur naik, terbentuklah suatu keadaan dimana partikel tersuspensi dalam aliran udara – *bed* tersebut disebut “terfluidisasikan”.

Dengan kenaikan kecepatan udara selanjutnya, terjadi pembentukan gelembung, turbulensi yang kuat, pencampuran cepat dan pembentukan permukaan *bed* yang rapat. Bed partikel padat menampilkan sifat cairan mendidih dan terlihat seperti fluida - “*bed* gelembung fluida/ *bubbling fluidized bed*”.

Jika partikel pasir dalam keadaan terfluidisasikan dipanaskan hingga ke suhu nyala batubara, dan batubara diinjeksikan secara terus menerus ke *bed*, batubara akan terbakar dengan cepat dan *bed* mencapai suhu yang seragam. Pembakaran dengan *fluidized bed* (FBC) berlangsung pada suhu sekitar 840°C hingga 950°C. Karena suhu ini jauh berada dibawah suhu fusi abu, maka pelelehan abu dan permasalahan yang terkait didalamnya dapat dihindari.

Suhu pembakaran yang lebih rendah tercapai disebabkan tingginya koefisien perpindahan panas sebagai akibat pencampuran cepat dalam *fluidized bed* dan ekstraksi panas yang efektif dari *bed* melalui perpindahan panas pada pipa dan dinding bed. Kecepatan gas dicapai diantara kecepatan fluidisasi minimum dan kecepatan masuk partikel. Hal ini menjamin operasi *bed* yang stabil dan menghindari terbawanya partikel dalam jalur gas.

## **2.5 Atmospheric Fluidized Bed Combustion (AFBC) Boiler**

Kebanyakan boiler yang beroperasi untuk jenis ini adalah *Atmospheric Fluidized Bed Combustion (AFBC) Boiler*. Alat ini hanya berupa *shell* boiler konvensional biasa yang ditambah dengan sebuah *fluidized bed combustor*. Sistem seperti telah dipasang digabungkan dengan *water tube boiler*/ boiler pipa air konvensional.

Batubara dihancurkan menjadi ukuran 1 – 10 mm tergantung pada tingkatan batubara dan jenis pengumpan udara ke ruang pembakaran. Udara atmosfer, yang bertindak sebagai udara fluidisasi dan pembakaran, dimasukkan dengan tekanan, setelah diberi pemanasan awal oleh gas buang bahan bakar. Pipa dalam *bed* yang membawa air pada umumnya bertindak sebagai *evaporator*. Produk gas hasil pembakaran melewati bagian *super heater* dari boiler lalu mengalir ke *economizer*, ke pengumpul debu dan pemanas awal udara sebelum dibuang ke atmosfer.

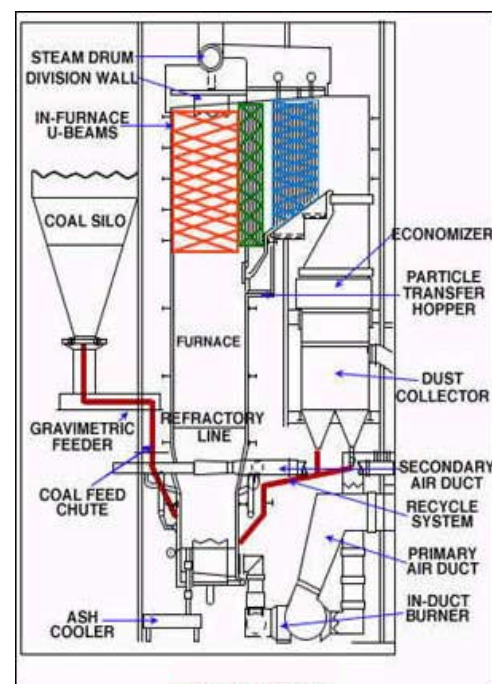
## 2.6 Pressurized Fluidized Bed Combustion (PFBC) Boiler

Pada tipe *Pressurized Fluidized bed Combustion* (PFBC), sebuah kompresor memasok udara *Forced Draft* (FD), dan pembakarnya merupakan tangki bertekanan. Laju panas yang dilepas dalam *bed* sebanding dengan tekanan *bed* sehingga *bed* yang dalam digunakan untuk mengekstraksi sejumlah besar panas. Hal ini akan meningkatkan efisiensi pembakaran dan peyerapan sulfur dioksida dalam *bed*. Steam dihasilkan didalam dua ikatan pipa, satu di *bed* dan satunya lagi berada di atasnya. Gas panas dari cerobong menggerakkan turbin gas pembangkit tenaga. Sistem PFBC dapat digunakan untuk pembangkitan kogenerasi (*steam* dan listrik) atau pembangkit tenaga dengan siklus gabungan/ *combined cycle*. Operasi *combined cycle* (turbin gas & turbin uap) meningkatkan efisiensi konversi keseluruhan sebesar 5 hingga 8 persen.

## 2.7 Atmospheric Circulating Fluidized Bed Combustion Boilers (CFBC)

Dalam sistem sirkulasi, parameter bed dijaga untuk membentuk padatan melayang dari *bed*. Padatan diangkat pada fase yang relatif terlarut dalam pengangkat padatan, dan sebuah *down-comer* dengan sebuah siklon merupakan aliran sirkulasi padatan. Tidak terdapat pipa pembangkit steam yang terletak dalam *bed*. Pembangkitan dan pemanasan berlebih steam berlangsung di bagian konveksi, dinding air, pada keluaran pengangkat/ *riser*.

Boiler CFBC pada umumnya lebih ekonomis daripada boiler AFBC, untuk penerapannya di industri memerlukan lebih dari 75 – 100 T/jam steam. Untuk unit yang besar, semakin tinggi karakteristik tungku boiler CFBC akan memberikan penggunaan ruang yang semakin baik, partikel bahan bakar lebih besar, waktu tinggal bahan penyerap untuk pembakaran yang efisien dan penangkapan SO<sub>2</sub> yang semakin besar pula, dan semakin mudah penerapan teknik pembakaran untuk pengendalian NO<sub>x</sub> daripada pembangkit steam AFBC.



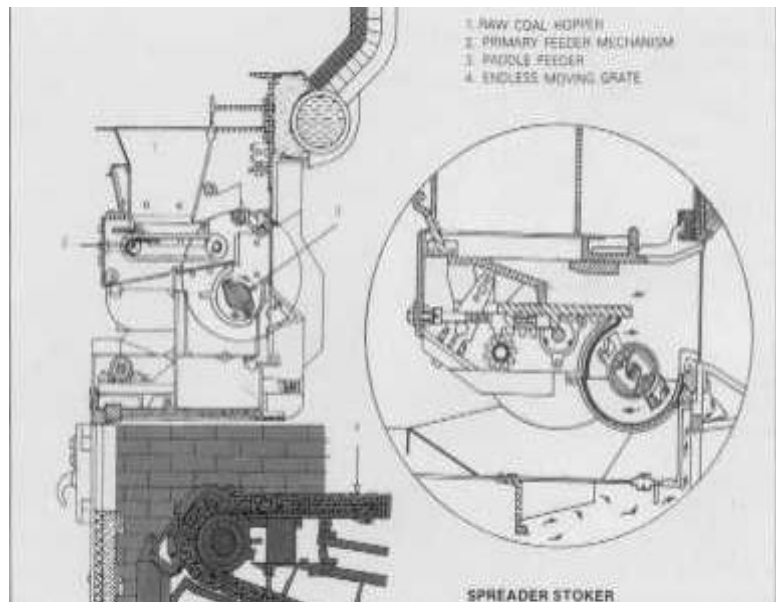
**Gambar 5. CFBC Boiler**  
(Thermax Babcock & Wilcox Ltd, 2001)

## 2.8 Stoker Fired Boilers

*Stokers* diklasifikasikan menurut metode pengumpanan bahan bakar ke tungku dan oleh jenis *grate* nya. Klasifikasi utamanya adalah *spreader stoker* dan *chain-gate* atau *traveling-gate stoker*.

### 2.8.1 Spreader stokers

*Spreader stokers* memanfaatkan kombinasi pembakaran suspensi dan pembakaran *grate*. Batubara diumpankan secara kontinyu ke tungku diatas *bed* pembakaran batubara. Batubara yang halus dibakar dalam suspensi; partikel yang lebih besar akan jatuh ke *grate*, dimana batubara ini akan dibakar dalam *bed* batubara yang tipis dan pembakaran cepat. Metode pembakaran ini memberikan fleksibilitas yang baik terhadap fluktuasi beban, dikarenakan penyalaan hampir terjadi secara cepat bila laju pembakaran meningkat. Karena hal ini, *spreader stoker* lebih disukai dibanding jenis *stoker* lainnya dalam berbagai penerapan di industri.

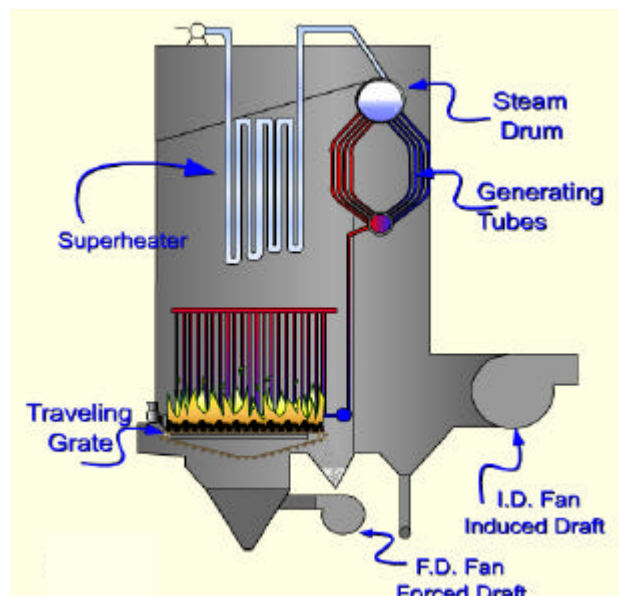


**Gambar 6. Spreader Stoker Boiler**  
(Department of Coal, 1985)

### 2.8.2 Chain-grate atau traveling-grate stoker

Batubara diumpankan ke ujung *grate* baja yang bergerak. Ketika *grate* bergerak sepanjang tungku, batubara terbakar sebelum jatuh pada ujung sebagai abu. Diperlukan tingkat keterampilan tertentu, terutama bila menyatel *grate*, *dampers* udara dan *baffles*, untuk menjamin pembakaran yang bersih serta menghasilkan seminimal mungkin jumlah karbon yang tidak terbakar dalam abu.

*Hopper* umpan batubara memanjang di sepanjang seluruh ujung umpan batubara pada tungku. Sebuah *grate* batubara digunakan untuk mengendalikan kecepatan batubara yang diumpankan ke tungku dengan mengendalikan ketebalan



**Gambar 7. Gambar Traveling Grate Boiler**  
(University of Missouri, 2004)

bed bahan bakar. Ukuran batubara harus seragam sebab bongkahan yang besar tidak akan terbakar sempurna pada waktu mencapai ujung *grate*.

## 2.9 Pulverized Fuel Boiler

Kebanyakan boiler stasiun pembangkit tenaga yang berbahan bakar batubara menggunakan batubara halus, dan banyak boiler pipa air di industri yang lebih besar juga menggunakan batubara yang halus. Teknologi ini berkembang dengan baik dan diseluruh dunia terdapat ribuan unit dan lebih dari 90 persen kapasitas pembakaran batubara merupakan jenis ini.

Untuk batubara jenis bituminous, batubara digiling sampai menjadi bubuk halus, yang berukuran +300 micrometer ( $\mu\text{m}$ ) kurang dari 2 persen dan yang berukuran dibawah 75 microns sebesar 70-75 persen. Harus diperhatikan bahwa bubuk yang terlalu halus akan memboroskan energi penggilingan.

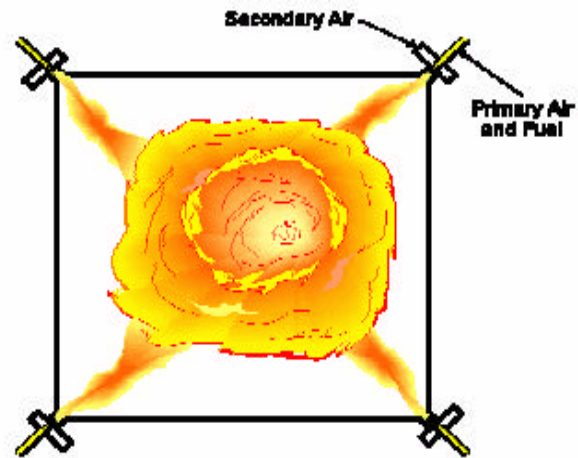
Sebaliknya, bubuk yang terlalu kasar tidak akan terbakar sempurna pada ruang pembakaran dan menyebabkan kerugian yang lebih besar karena bahan yang tidak terbakar. Batubara bubuk dihembuskan dengan sebagian udara pembakaran masuk menuju plant boiler melalui serangkaian nosel *burner*. Udara sekunder dan tersier dapat juga ditambahkan. Pembakaran berlangsung pada suhu dari 1300 - 1700 °C, tergantung pada kualitas batubara. Waktu tinggal partikel dalam *boiler* biasanya 2 hingga 5 detik, dan partikel harus cukup kecil untuk pembakaran yang sempurna.

Sistim ini memiliki banyak keuntungan seperti kemampuan membakar berbagai kualitas batubara, respon yang cepat terhadap perubahan beban muatan, penggunaan suhu udara pemanas awal yang tinggi dll.

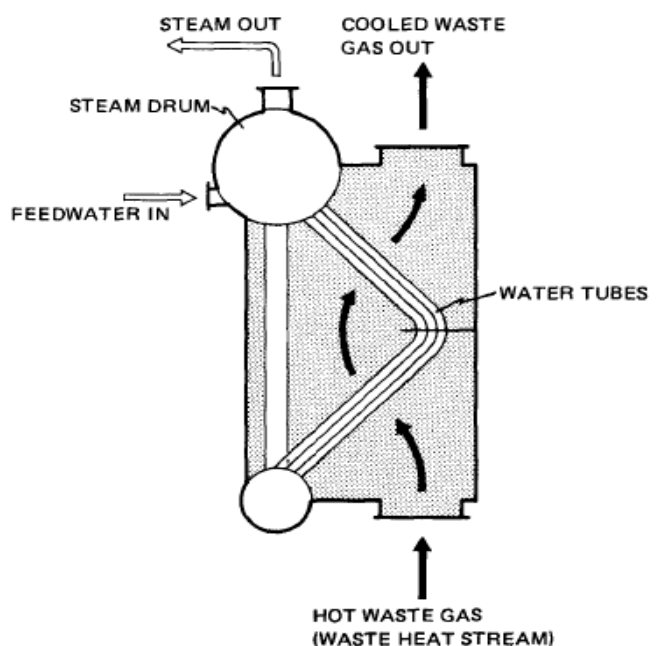
Salah satu sistim yang paling populer untuk pembakaran batubara halus adalah pembakaran tangensial dengan menggunakan empat buah *burner* dari keempat sudut untuk menciptakan bola api pada pusat tungku.

## 2.10 Boiler Limbah Panas

Dimanapun tersedia limbah panas pada suhu sedang atau tinggi, boiler limbah panas dapat dipasang secara ekonomis. Jika



Gambar 8: Pembakaran tangensial untuk bahan bakar halus (Referensi tidak diketahui)



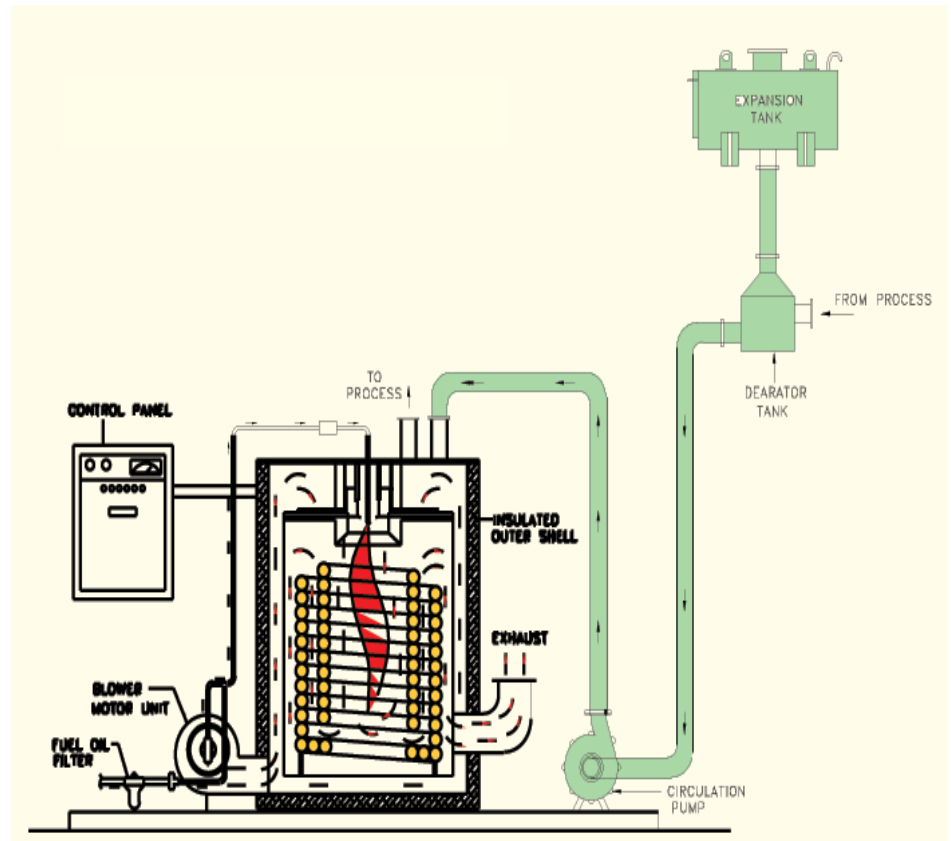
Gambar 9: Skema sederhana Boiler Limbah Panas (Agriculture and Agri-Food Canada, 2001)

kebutuhan steam lebih dari steam yang dihasilkan menggunakan gas buang panas, dapat digunakan *burner* tambahan yang menggunakan bahan bakar. Jika steam tidak langsung dapat digunakan, steam dapat dipakai untuk memproduksi daya listrik menggunakan generator turbin uap. Hal ini banyak digunakan dalam pemanfaatan kembali panas dari gas buang dari turbin gas dan mesin diesel.

## 2.11 Pemanas Fluida Termis

Saat ini, pemanas fluida termis telah digunakan secara luas dalam berbagai penerapan untuk pemanasan proses tidak langsung. Dengan menggunakan fluida petroleum sebagai media perpindahan panas, pemanas tersebut memberikan suhu yang konstan. Sistem pembakaran terdiri dari sebuah *fixed grate* dengan susunan *draft* mekanis.

Pemanas fluida thermis modern berbahan bakar minyak terdiri dari sebuah kumparan ganda, konstruksi tiga *pass* dan dipasang dengan sistem jet tekanan. Fluida termis, yang bertindak sebagai pembawa panas, dipanaskan dalam pemanas dan disirkulasikan melalui peralatan pengguna. Disini fluida memindahkn panas untuk proses melalui penukar panas, kemudian fluidanya dikembalikan ke pemanas. Aliran fluida termis pada ujung pemakai dikendalikan oleh katup pengendali yang dioperasikan secara pneumatis, berdasarkan suhu operasi. Pemanas beroperasi pada api yang tinggi atau rendah tergantung pada suhu minyak yang kembali yang bervariasi tergantung beban sistem.



**Gambar 10. Konfigurasi Pemanas Fluida Thermis**  
(Mesin Energi India)

Keuntungan pemanas tersebut adalah:

- Operasi sistem tertutup dengan kehilangan minimum dibanding dengan boiler steam
- Operasi sistem tidak bertekanan bahkan untuk suhu sekitar 250 °C dibandingkan kebutuhan tekanan steam 40 kg/cm<sup>2</sup> dalam sistem steam yang sejenis.
- Penyetelan kendali otomatis, yang memberikan fleksibilitas operasi.
- Efisiensi termis yang baik karena tidak adanya kehilangan panas yang diakibatkan oleh *blowdown*, pembuangan kondensat dan *flash steam*.



Faktor ekonomi keseluruhan dari pemanas fluida termis tergantung pada penerapan spesifik dan dasar acuannya. Pemanas fluida termis berbahan bakar batubara dengan kisaran efisiensi panas 55-65 persen merupakan yang paling nyaman digunakan dibandingkan dengan hampir kebanyakan boiler. Penggabungan peralatan pemanfaatan kembali panas dalam gas buang akan mempertinggi tingkat efisiensi termis selanjutnya.

### 3. PENGKAJIAN BOILER

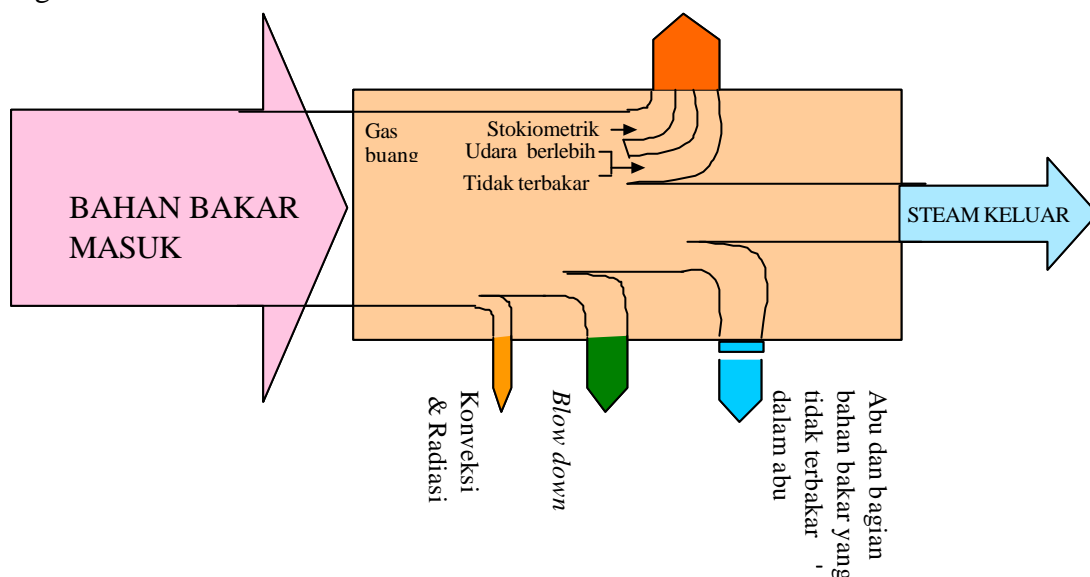
Bagian ini menjelaskan evaluasi Kinerja boiler (melalui metode langsung dan tidak langsung termasuk contoh perhitungan efisiensi), *blowdown* boiler, dan pengolahan air boiler.

#### 3.1 Evaluasi Kinerja Boiler

Parameter kinerja boiler, seperti efisiensi dan rasio penguapan, berkurang terhadap waktu disebabkan buruknya pembakaran, kotornya permukaan penukar panas dan buruknya operasi dan pemeliharaan. Bahkan untuk *boiler* yang baru sekalipun, alasan seperti buruknya kualitas bahan bakar dan kualitas air dapat mengakibatkan buruknya kinerja boiler. Neraca panas dapat membantu dalam mengidentifikasi kehilangan panas yang dapat atau tidak dapat dihindari. Uji efisiensi boiler dapat membantu dalam menemukan penyimpangan efisiensi boiler dari efisiensi terbaik dan target area permasalahan untuk tindakan perbaikan.

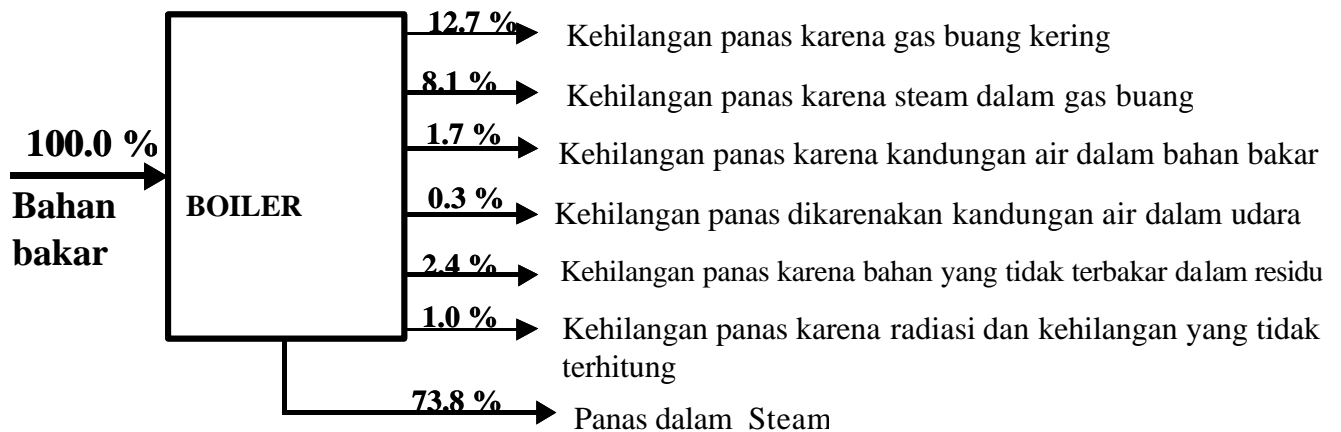
##### 3.1.1 Neraca Panas

Proses pembakaran dalam boiler dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir energi. Diagram ini menggambarkan secara grafis tentang bagaimana energi masuk dari bahan bakar diubah menjadi aliran energi dengan berbagai kegunaan dan menjadi aliran kehilangan panas dan energi. Panah tebal menunjukkan jumlah energi yang dikandung dalam aliran masing-masing.



Gambar 11. Diagram neraca energi boiler

Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk boiler terhadap yang meninggalkan boiler dalam bentuk yang berbeda. Gambar berikut memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi untuk pembangkitan *steam*.



**Gambar 12. Kehilangan pada Boiler yang Berbahan Bakar Batubara**

Kehilangan energi dapat dibagi kedalam kehilangan yang tidak atau dapat dihindarkan. Tujuan dari Produksi Bersih dan/atau pengkajian energi harus mengurangi kehilangan yang dapat dihindari, dengan meningkatkan efisiensi energi. Kehilangan berikut dapat dihindari atau dikurangi:

- Kehilangan gas cerobong:
  - Udara berlebih (diturunkan hingga ke nilai minimum yang tergantung dari teknologi *burner*, operasi (kontrol), dan pemeliharaan).
  - Suhu gas cerobong (diturunkan dengan mengoptimalkan perawatan (pembersihan), beban; *burner* yang lebih baik dan teknologi boiler).
- Kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu (mengoptimalkan operasi dan pemeliharaan; teknologi *burner* yang lebih baik).
- Kehilangan dari *blowdown* (pengolahan air umpan segar, daur ulang kondensat)
- Kehilangan kondensat (manfaatkan sebanyak mungkin kondensat)
- Kehilangan konveksi dan radiasi (dikurangi dengan isolasi boiler yang lebih baik)

### 3.1.2 Efisiensi Boiler

Efisiensi termis boiler didefinisikan sebagai “persen energi (panas) masuk yang digunakan secara efektif pada steam yang dihasilkan.”

Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler:

- Metode Langsung: energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar *boiler*.
- Metode Tidak Langsung: efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energi yang masuk.

### 3.1.3 Metode langsung dalam menentukan efisiensi boiler

#### Metodologi

Dikenal juga sebagai ‘metode *input-output*’ karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/*output* (steam) dan panas masuk/*input* (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi. Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan rumus:

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{\text{Panas Keluar}}{\text{Panas Masuk}} \times 100$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times \text{GCV}} \times 100$$

Parameter yang dipantau untuk perhitungan efisiensi boiler dengan metode langsung adalah:

- Jumlah steam yang dihasilkan per jam (Q) dalam kg/jam
- Jumlah bahan bakar yang digunakan per jam (q) dalam kg/jam
- Tekanan kerja (dalam kg/cm<sup>2</sup>(g)) dan suhu lewat panas (oC), jika ada
- Suhu air umpan (oC)
- Jenis bahan bakar dan nilai panas kotor bahan bakar (GCV) dalam kkal/kg bahan bakar

Dimana

- $h_g$  – Entalpi steam jenuh dalam kkal/kg *steam*
- $h_f$  – Entalpi air umpan dalam kkal/kg air

#### Contoh

Cari efisiensi boiler dengan metode langsung dengan data yang diberikan dibawah ini:

- Jenis boiler: Berbahan bakar batubara
- Jumlah steam (kering) yang dihasilkan: 10 TPJ
- Tekanan steam (*gauge*) / suhu: 10 kg/cm<sup>2</sup> (g)/ 180<sup>0</sup> C
- Jumlah pemakaian batubara: 2,25 TPJ
- Suhu air umpan: 85<sup>0</sup> C
- GCV batubara: 3200 kkal/kg
- Entalpi steam pada tekanan 10 kg/cm<sup>2</sup>: 665 kkal/kg (jenuh)
- Entalp of air umpan: 85 kkal/kg

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{10 \times (665 - 85) \times 1000}{2,25 \times 3200 \times 1000} \times 100 = 80,56 \text{ persen}$$

#### Keuntungan metode langsung

- Pekerja pabrik dapat dengan cepat mengevaluasi efisiensi boiler
- Memerlukan sedikit parameter untuk perhitungan
- Memerlukan sedikit instrumen untuk pemantauan

- Mudah membandingkan rasio penguapan dengan data *benchmark*

#### ***Kerugian metode langsung***

- Tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari efisiensi sistim yang lebih rendah
- Tidak menghitung berbagai kehilangan yang berpengaruh pada berbagai tingkat efisiensi

### **3.1.4 Metode tidak langsung dalam menentukan efisiensi boiler**

#### ***Metodologi***

Standar acuan untuk Uji Boiler di Tempat dengan menggunakan metode tidak langsung adalah *British Standard, BS 845:1987* dan *USA Standard ASME PTC-4-1 Power Test Code Steam Generating Units*.

Metode tidak langsung juga dikenal dengan metode kehilangan panas. Efisiensi dapat dihitung dengan mengurangi bagian kehilangan panas dari 100 sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi boiler (n)} = 100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii)$$

Dimana kehilangan yang terjadi dalam boiler adalah kehilangan panas yang diakibatkan oleh:

- i. Gas cerobong yang kering
- ii. Penguapan air yang terbentuk karena H<sub>2</sub> dalam bahan bakar
- iii. Penguapan kadar air dalam bahan bakar
- iv. Adanya kadar air dalam udara pembakaran
- v. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/ *fly ash*
- vi. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/ *bottom ash*
- vii. Radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung

Kehilangan yang diakibatkan oleh kadar air dalam bahan bakar dan yang disebabkan oleh pembakaran hidrogen tergantung pada bahan bakar, dan tidak dapat dikendalikan oleh perancangan.

Data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi boiler dengan menggunakan metode tidak langsung adalah:

- Analisis *ultimate* bahan bakar (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, S, C, kadar air, kadar abu)
- Persentase oksigen atau CO<sub>2</sub> dalam gas buang
- Suhu gas buang dalam °C (Tf)
- Suhu ambien dalam °C (Ta) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering
- GCV bahan bakar dalam kkal/kg
- Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat)
- GCV abu dalam kkal/kg (untuk bahan bakar padat)

Prosedur rinci untuk perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode tidak langsung diberikan dibawah. Biasanya, manager energi di industri lebih menyukai prosedur perhitungan yang lebih sederhana.

Tahap 1: Menghitung kebutuhan udara teoritis

$$= [(11,43 \times C) + \{34,5 \times (H_2 - O_2/8)\} + (4,32 \times S)]/100 \text{ kg/kg bahan bakar}$$

Tahap 2: Menghitung persen kelebihan udara yang dipasok (EA)

$$= \frac{\text{persen } O_2 \times 100}{(21 - \text{persen } O_2)}$$

Tahap 3: Menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok/ kg bahan bakar (AAS)

$$= \{1 + EA/100\} \times \text{udara teoritis}$$

Tahap 4: Memperkirakan seluruh kehilangan panas

- i. Persentase kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang yang kering

$$= \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a) \times 100}{\text{GCV bahan bakar}}$$

Dimana, m = massa gas buang kering dalam kg/kg bahan bakar  
 $m = (\text{massa hasil pembakaran kering / kg bahan bakar}) + (\text{massa } N_2 \text{ dalam bahan bakar pada basis 1 kg}) + (\text{massa } N_2 \text{ dalam massa udara pasokan yang sebenarnya}).$   
 $C_p = \text{Panas jenis gas buang (0,23 kkal/kg)}$

- ii. Persen kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya  $H_2$  dalam bahan bakar

$$= \frac{9 \times H_2 \{584 + C_p (T_f - T_a)\} \times 100}{\text{GCV bahan bakar}}$$

Dimana,  $H_2$  = persen  $H_2$  dalam 1 kg bahan bakar  
 $C_p = \text{panas jenis steam lewat jenuh/superheated steam (0,45 kkal/kg)}$

- iii. Persen kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar

$$= \frac{M \{584 + C_p (T_f - T_a)\} \times 100}{\text{GCV bahan bakar}}$$

Dimana, M – persen kadar air dalam 1 kg bahan bakar  
 $C_p = \text{panas jenis steam lewat jenuh/superheated steam (0,45 kkal/kg)}$

- iv. Persen kehilangan panas karena kadar air dalam udara

$$= \frac{\text{AAS} \times \text{faktor kelembaban} \times C_p (T_f - T_a) \times 100}{\text{GCV bahan bakar}}$$

Dimana,  $C_p$  = panas jenis steam lewat jenuh/*superheated steam* (0,45 kkal/kg)

- v. Persen kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/ *fly ash*

$$= \frac{\text{Total abu terkumpul/kg bahan bakar yg terbakar} \times \text{GCV abu terbang} \times 100}{\text{GCV bahan bakar}}$$

- vi. Persen kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/ *bottom ash*

$$= \frac{\text{Total abu terkumpul per Kg bahan bakar terbakar} \times \text{GCV abu bawah} \times 100}{\text{GCV bahan bakar}}$$

- vii. Persen kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung

Kehilangan radiasi dan konveksi aktual sulit dikaji sebab daya emisifitas permukaan yang beraneka ragam, kemiringan, pola aliran udara, dll. Pada boiler yang relatif kecil, dengan kapasitas 10 MW, kehilangan radiasi dan yang tidak terhitung dapat mencapai 1 hingga 2 persen nilai kalor kotor bahan bakar, sementara pada boiler 500 MW nilainya 0,2 hingga 1 persen. Kehilangan dapat diasumsikan secara tepat tergantung pada kondisi permukaan.

#### Tahap 5: Menghitung efisiensi boiler dan rasio penguapan boiler

Efisiensi boiler (n) = 100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii)

Rasio Penguapan = Panas yang digunakan untuk pembangkitan steam/ panas yang ditambahkan ke steam

Rasio penguapan yaitu kilogram steam yang dihasilkan per kilogram bahan bakar yang digunakan. Contohnya adalah:

- Boiler berbahan bakar batubara: 6 (yaitu 1 kg batubara dapat menghasilkan 6 kg steam)
- Boiler berbahan bakar minyak: 13 (yaitu 1 kg batubara dapat menghasilkan 13 kg steam)

Walau demikian, rasio penguapan akan tergantung pada jenis boiler, nilai kalor bahan bakar dan efisiensi.

#### **Contoh**

- Jenis boiler: Berbahan bakar minyak
- Analisis *ultimate* minyak bakar
  - C: 84 persen
  - H<sub>2</sub>: 12,0 persen
  - S: 3,0 persen
  - O<sub>2</sub>: 1 persen

## Peralatan Energi Panas: Boiler & Pemanas Fluida Termis

- GCV Minyak bakar: 10200 kka/kg
- Persentase Oksigen: 7 persen
- Persentase CO<sub>2</sub>: 11 persen
- Suhu gas buang (T<sub>f</sub>): 220 °C
- Suhu ambien (T<sub>a</sub>): 27 °C
- Kelembaban udara: 0,018 kg/kg udara kering

### Tahap-1: Mengitung kebutuhan udara teoritis

$$\begin{aligned} &= [(11,43 \times C) + \{34,5 \times (H_2 - O_2/8)\} + (4,32 \times S)]/100 \text{ kg/kg minyak bakar} \\ &= [(11,43 \times 84) + \{34,5 \times (12 - 1/8)\} + (4,32 \times 3)]/100 \text{ kg/kg minyak bakar} \\ &= 13,82 \text{ kg udara/kg minyak bakar} \end{aligned}$$

### Tahap-2: Menghitung persen udara berlebih yang dipasok (EA)

$$\begin{aligned} \text{Udara berlebih yang dipasok (EA)} \\ &= (O_2 \times 100)/(21 - O_2) \\ &= (7 \times 100)/(21 - 7) \\ &= 50 \% \end{aligned}$$

### Tahap 3: Menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok / kg bahan bakar (AAS)

$$\begin{aligned} \text{AAS/kg bahan bakar} &= [1 + EA/100] \times \text{Udara Teoritis (AAS)} \\ &= [1 + 50/100] \times 13,82 \\ &= 1,5 \times 13,82 \\ &= 20,74 \text{ kg udara/kg minyak bakar} \end{aligned}$$

### Tahap 4: Memperkirakan seluruh kehilangan panas

- i. Persentase kehilangan panas karena gas kering cerobong

$$\begin{aligned} &= \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a) \times 100}{\text{GCV bahan bakar}} \\ m &= \text{massa CO}_2 + \text{massa SO}_2 + \text{massa N}_2 + \text{massa O}_2 \\ m &= \frac{0,84 \times 44}{12} + \frac{0,03 \times 64}{32} + \frac{20,74 \times 77}{100} + (0,07 \times 32) \\ m &= 21,35 \text{ kg / kg minyak bakar} \\ &= \frac{21,35 \times 0,23 \times (220 - 27)}{10200} \times 100 \\ &= 9,29 \% \end{aligned}$$

*Dapat juga digunakan sebuah metode yang lebih sederhana: Persentase kehilangan panas yang disebabkan oleh gas kering cerobong*

$$= \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a) \times 100}{\text{GCV bahan bakar}}$$

m (total massa gas buang)

= massa udara sebenarnya yang dipasok + massa bahan bakar yang dipasok

$$= 20,19 + 1 = 21,19$$

$$= \frac{21,19 \times 0,23 \times (220-27)}{10200} \times 100$$

$$= 9,22 \%$$

ii. Kehilangan panas karena penguapan kadar air karena adanya H<sub>2</sub> dalam bahan bakar

$$= \frac{9 \times H_2 \{584+0,45 (T_f - T_a)\}}{\text{GCV bahan bakar}}$$

dimana H<sub>2</sub> = persen H<sub>2</sub> dalam bahan bakar

$$= \frac{9 \times 12 \{584+0,45(220-27)\}}{10200}$$

$$= 7,10 \%$$

iii. Kehilangan panas karena kadar air dalam udara

$$= \frac{\text{AAS} \times \text{kelembaban} \times 0,45 \times ((T_f - T_a) \times 100)}{\text{GCV bahan bakar}}$$

$$= [20,74 \times 0,018 \times 0,45 \times (220-27) \times 100] / 10200$$

$$= 0,317 \%$$

iv. Kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung

Untuk boiler kecil diperkirakan kehilangan mencapai 2 %

Tahap 5: Menghitung efisiensi boiler dan rasio penguapan boiler



Efisiensi boiler (n) = 100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii)

- |      |   |           |
|------|---|-----------|
| i.   | Kehilangan panas karena gas buang kering  | : 9,29 %  |
| ii.  | Kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya H <sub>2</sub> dalam bahan bakar | : 7,10 %  |
| iii. | Kehilangan panas karena kadar air dalam udara   | : 0,317 % |
| iv.  | Kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung                            | : 2 %     |

$$= 100 - [9,29 + 7,10 + 0,317 + 2]$$

$$= 100 - 17,024 = 83 \% \text{ (perkiraan)}$$

Rasio penguapan = Panas yang digunakan untuk pembangkitan steam / Panas yang ditambahkan ke steam

$$= 10200 \times 0,83 / (660 - 60)$$

$$= 14,11 \text{ (bandingkan dengan rasio penguapan untuk boiler yang berbahan bakar minyak = 13)}$$

### ***Keuntungan metode tidak langsung***

- Dapat diketahui neraca bahan dan energi yang lengkap untuk setiap aliran, yang dapat memudahkan dalam mengidentifikasi opsi-opsi untuk meningkatkan efisiensi boiler.

### ***Kerugian metode tidak langsung***

- Perlu waktu lama
- Memerlukan fasilitas laboratorium untuk analisis

## **3.2 Blowdown Boiler**

Jika air dididihkan dan dihasilkan steam, padatan terlarut yang terdapat dalam air akan tinggal di boiler. Jika banyak padatan terdapat dalam air umpan, padatan tersebut akan terpekatkan dan akhirnya akan mencapai suatu tingkat dimana kelarutannya dalam air akan terlampaui dan akan mengendap dari larutan. Diatas tingkat konsentrasi tertentu, padatan tersebut mendorong terbentuknya busa dan menyebabkan terbawanya air ke steam. Endapan juga mengakibatkan terbentuknya kerak di bagian dalam boiler, mengakibatkan pemanasan setempat menjadi berlebih dan akhirnya menyebabkan kegagalan pada pipa boiler.

Oleh karena itu penting untuk mengendalikan tingkat konsentrasi padatan dalam suspensi dan yang terlarut dalam air yang dididihkan. Hal ini dicapai oleh proses yang disebut *blowing down*, dimana sejumlah tertentu volume air dikeluarkan dan secara otomatis diganti dengan air umpan – dengan demikian akan tercapai tingkat optimum total padatan terlarut (TDS) dalam air boiler dan membuang padatan yang sudah rata keluar dari larutan dan yang cenderung tinggal pada permukaan boiler. *Blowdown* penting untuk melindungi permukaan penukar panas pada boiler. Walau demikian, *Blowdown* dapat menjadi sumber kehilangan panas yang cukup berarti, jika dilakukan secara tidak benar.

### Sampling Air Boiler

Sampel air boiler akan berguna hanya jika sampel ini mewakili kondisi dibagian dalam boiler. Oleh karena itu sampel-sampel yang diambil dari gelas pengukur ketinggian air, yang tergantung di luar ruang control, atau dekat pipa pemasukan air umpan nampaknya sangat tidak akurat.

Sampel yang diambil dari *shell* boiler tidak aman dan tidak akurat sebab airnya dalam keadaan bertekanan dan sebagian akan menyemprot menjadi steam, sehingga konsentrasi TDS yang terukur lebih tinggi pada sampel daripada didalam boiler. Berdasarkan hasil analisis sampel, sangat umum terjadi bahwa air boiler yang di-blowdown lebih banyak daripada yang diperlukan.

Penyelesaiannya adalah menggunakan pendingin sampel untuk mengambil air dari boiler. Pendingin sampel adalah penukar panas berukuran kecil yang menggunakan air dingin untuk mendinginkan sampel pada saat diambil, oleh karena itu mengurangi semprotan, meningkatkan keamanan operator dan ketelitian sampel. Dalam beberapa sistim otomatis, sensor konduktivitas dipasang langsung ke *shell* boiler untuk memantau tingkat TDS secara terus menerus. Alasan lain untuk sistim kendali TDS otomatis adalah untuk menghindari pengaruh beban steam yang bervariasi, laju kondensat yang kembali, dan kualitas air *make-up* pada hasil sampel.

#### 3.2.1 Konduktivitas sebagai indikator kualitas air boiler

Dikarenakan pekerjaan mengukur TDS pada sistim air boiler merupakan pekerjaan yang membosankan dan memakan waktu, maka digunakan pengukuran konduktivitas untuk memantau TDS keseluruhan yang ada dalam boiler. Peningkatan dalam konduktivitas menunjukkan kenaikan “pencemaran” air boiler. Metode konvensional untuk mem-*blowdown* boiler tergantung pada dua jenis *blowdown*: sewaktu-waktu dan kontinyu.

##### *Blowdown yang sewaktu-waktu/ intermittent*

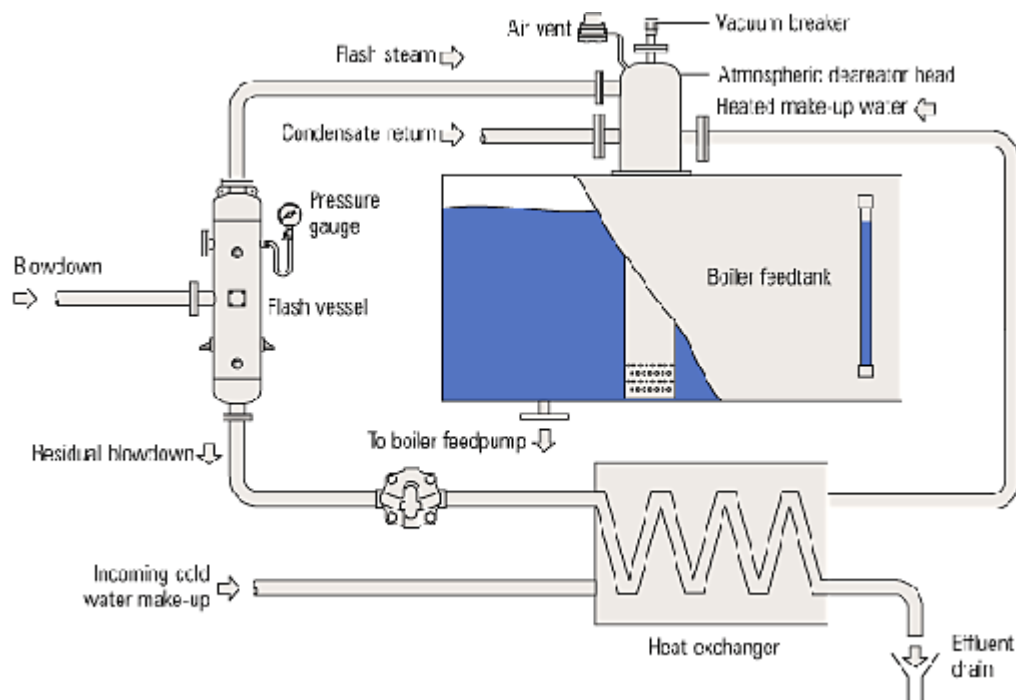
*Blowdown* yang sewaktu-waktu dioperasikan secara manual menggunakan sebuah kran yang dipasang pada pipa pembuangan pada titik terendah *shell* boiler untuk mengurangi parameter (TDS atau konduktivitas, pH, konsentasi Silica dan Fosfat) dalam batasan yang sudah ditentukan sehingga tidak berpengaruh buruk terhadap kualitas steam. Jenis *blowdown* ini juga merupakan metode efektif untuk membuang padatan yang telah lepas dari larutan dan menempati pipa api dan permukaan dalam *shell* boiler. Pada *blowdown* yang sewaktu-waktu, jalur yang berdiameter besar dibuka untuk waktu sesaat, yang didasarkan pada aturan umum misalnya “sekali dalam satu *shift* untuk waktu 2 menit”.

*Blowdown* yang sewaktu-waktu menyebabkan harus ditambahkannya air umpan ke dalam boiler dalam jumlah besar dan dalam waktu singkat, sehingga membutuhkan pompa air umpan yang lebih besar daripada jika digunakan *blowdown* kontinyu. Juga, tingkat TDS akan bervariasi, sehingga menyebabkan fluktuasi ketinggian air dalam boiler karena perubahan dalam ukuran gelembung *steam* dan distribusinya yang setara dengan perubahan dalam konsentrasi padatan. Juga, sejumlah besar energi panas hilang karena *blowdown* yang sewaktu-waktu.

### Blowdown yang kontinyu

Terdapat pemasukan yang tetap dan konstan sejumlah kecil aliran air boiler kotor, dengan penggantian aliran masuk air umpan yang tetap dan konstan. Hal ini menjamin TDS yang konstan dan kemurnian steam pada beban steam tertentu. Kran *blowdown* hanya diatur satu kali untuk kondisi tertentu, dan tidak perlu lagi diatur setiap saat oleh operator. Walaupun sejumlah besar panas diambil dari boiler, tetapi ada peluang pemanfaatan kembali panas ini dengan mengembuskannya ke *flash tank* dan menghasilkan *flash steam*. *Flash steam* ini dapat digunakan untuk pemanasan awal air umpan boiler. Jenis *blowdown* ini umum digunakan pada boiler bertekanan tinggi.

Residu *blowdown* yang meninggalkan *flash vessel* masih mengandung energi panas yang cukup dan dapat dimanfaatkan kembali dengan memasang sebuah penukar panas untuk memanaskan air *make-up* dingin. Sistem pemanfaatan kembali panas *blowdown* yang lengkap seperti yang digambarkan dibawah dapat memanfaatkan hingga 80% energi yang terkandung dalam *blowdown*, yang dapat diterapkan pada berbagai ukuran boiler steam dengan waktu pengembalian modalnya bisa kembali hanya dalam beberapa bulan.



**Gambar 13. Skema Pemanfaatan Kembali Panas dari *Blowdown* Boiler (Spirax Sarco)**

### 3.2.2 Perhitungan *blowdown*

Besarnya jumlah *blowdown* yang diperlukan untuk mengendalikan konsentrasi padatan air boiler dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Blowdown (persen)} = \frac{\text{TDS Air make up} \times \% \text{ Air make up}}{\text{TDS maksimum dalam boiler yang diijinkan}}$$

Jika batasan maksimum TDS yang diperbolehkan sebagaimana dalam boiler paket adalah sebesar 3000 ppm, persen air *make up* adalah 10 persen dan TDS dalam air *make up* adalah 300 ppm, maka persentase *blowdown*nya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= 300 \times 10 / 3000 \\ &= 1 \% \end{aligned}$$

Jika laju penguapan boiler sebesar 3000 kg/jam maka laju *blowdown* yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned} &= 3000 \times 1 / 100 \\ &= 30 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

### **3.2.3 Keuntungan pengendalian *blowdown***

Pengendalian *blowdown* boiler yang baik dapat secara signifikan menurunkan biaya perlakuan dan operasional yang meliputi:

- Biaya perlakuan awal lebih rendah
- Konsumsi air *make-up* lebih sedikit
- Waktu penghentian untuk perawatan menjadi berkurang
- Umur pakai boiler meningkat
- Pemakaian bahan kimia untuk pengolahan air umpan menjadi lebih rendah

## **3.3 Pengolahan Air Umpan Boiler**

Memproduksi steam yang berkualitas tergantung pada pengolahan air yang benar untuk mengendalikan kemurnian steam, endapan dan korosi. Sebuah boiler merupakan bagian dari sistim boiler, yang menerima semua bahan pencemar dari sistim didepannya. Kinerja boiler, efisiensi, dan umur layanan merupakan hasil langsung dari pemilihan dan pengendalian air umpan yang digunakan dalam boiler.

Jika air umpan masuk ke boiler, kenaikan suhu dan tekanan menyebabkan komponen air memiliki sifat yang berbeda. Hampir semua komponen dalam air umpan dalam keadaan terlarut. Walau demikian, dibawah kondisi panas dan tekanan hampir seluruh komponen terlarut keluar dari larutan sebagai padatan partikulat, kadang-kadang dalam bentuk kristal dan pada waktu yang lain sebagai bentuk amorph. Jika kelarutan komponen spesifik dalam air terlewati, maka akan terjadi pembentukan kerak dan endapan. Air boiler harus cukup bebas dari pembentukan endapan padat supaya terjadi perpindahan panas yang cepat dan efisien dan harus tidak korosif terhadap logam boiler.

### **3.3.1 Pengendalian endapan**

Endapan dalam boiler dapat diakibatkan dari kesadahan air umpan dan hasil korosi dari sistim kondensat dan air umpan. Kesadahan air umpan dapat terjadi karena kurangnya sistim pelunakan.

Endapan dan korosi menyebabkan kehilangan efisiensi yang dapat menyebabkan kegagalan dalam pipa boiler dan ketidakmampuan memproduksi steam. Endapan bertindak sebagai isolator dan memperlambat perpindahan panas. Sejumlah besar endapan diseluruh boiler dapat mengurangi perpindahan panas yang secara signifikan dapat menurunkan efisiensi boiler. Berbagai jenis endapan akan mempengaruhi efisiensi boiler secara berbeda-beda, sehingga sangat penting untuk menganalisis karakteristik endapan. Efek pengisolasian terhadap endapan menyebabkan naiknya suhu logam boiler dan mungkin dapat menyebabkan kegagalan pipa karena pemanasan berlebih.

### **3.3.2 Kotoran yang mengakibatkan pengendapan**

Bahan kimia yang paling penting dalam air yang mempengaruhi pembentukan endapan dalam boiler adalah garam kalsium dan magnesium yang dikenal dengan garam sadah.

Kalsium dan magnesium bikarbonat larut dalam air membentuk larutan basa/alkali dan garam-garam tersebut dikenal dengan kesadahan alkali. Garam-garam tersebut terurai dengan pemanasan, melepaskan karbon dioksida dan membentuk lumpur lunak, yang kemudian mengendap. Hal ini disebut dengan kesadahan sementara – kesadahan yang dapat dibuang dengan pendidihan.

Kalsium dan magnesium sulfat, klorida dan nitrat, dll., jika dilarutkan dalam air secara kimiawi akan menjadi netral dan dikenal dengan kesadahan non-alkali. Bahan tersebut disebut bahan kimia sadah permanen dan membentuk kerak yang keras pada permukaan boiler yang sulit dihilangkan. Bahan kimia sadah non-alkali terlepas dari larutannya karena penurunan daya larut dengan meningkatnya suhu, dengan pemekatan karena penguapan yang berlangsung dalam boiler, atau dengan perubahan bahan kimia menjadi senyawa yang kurang larut.

### **3.3.3 Silika**

Keberadaan silika dalam air boiler dapat meningkatkan pembentukan kerak silika yang keras. Silika dapat juga berinteraksi dengan garam kalsium dan magnesium, membentuk silikat kalsium dan magnesium dengan daya konduktivitas panas yang rendah. Silika dapat meningkatkan endapan pada sirip turbin, setelah terbawa dalam bentuk tetesan air dalam steam, atau dalam bentuk yang mudah menguap dalam steam pada tekanan tinggi.

Dua jenis utama pengolahan air *boiler* adalah pengolahan air internal dan eksternal.

### **3.3.4 Pengolahan air internal**

Pengolahan internal adalah penambahan bahan kimia ke boiler untuk mencegah pembentukan kerak. Senyawa pembentuk kerak diubah menjadi lumpur yang mengalir bebas, yang dapat dibuang dengan *blowdown*. Metode ini terbatas pada boiler dimana air umpan mengandung garam sadah yang rendah, dengan tekanan rendah, kandungan TDS tinggi dalam boiler dapat ditoleransi, dan jika jumlah airnya kecil. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi maka laju *blowdown* yang tinggi diperlukan untuk membuang lumpur. Hal tersebut menjadi tidak ekonomis sehubungan dengan kehilangan air dan panas.

Jenis sumber air yang berbeda memerlukan bahan kimia yang berbeda pula. Senyawa seperti sodium karbonat, sodium aluminat, sodium fosfat, sodium sulfit dan komponen sayuran atau senyawa inorganik seluruhnya dapat digunakan untuk maksud ini. Untuk setiap kondisi air diperlukan bahan kimia tertentu. Harus dikonsultasikan dengan seorang spesialis dalam menentukan bahan kimia yang paling cocok untuk digunakan pada setiap kasus. Pengolahan air hanya dengan pengolahan internal tidak direkomendasikan.

### **3.3.5 Pengolahan Air Eksternal**

Pengolahan eksternal digunakan untuk membuang padatan tersuspensi, padatan terlarut (terutama ion kalsium dan magnesium yang merupakan penyebab utama pembentukan kerak) dan gas-gas terlarut (oksigen dan karbon dioksida).

Proses perlakuan eksternal yang ada adalah:

- Pertukaran ion
- De-aerasi (mekanis dan kimia)
- Osmosis balik
- Penghilangan mineral/ demineralisasi

Sebelum digunakan cara diatas, perlu untuk membuang padatan dan warna dari bahan baku air, sebab bahan tersebut dapat mengotori resin yang digunakan pada bagian pengolahan berikutnya.

Metode pengolahan awal adalah sedimentasi sederhana dalam tangki pengendapan atau pengendapan dalam *clarifiers* dengan bantuan koagulan dan flokulan. Penyaring pasir bertekanan, dengan aerasi untuk menghilangkan karbon dioksida dan besi, dapat digunakan untuk menghilangkan garam-garam logam dari air sumur.

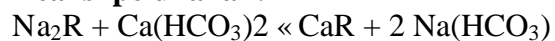
Tahap pertama pengolahan adalah menghilangkan garam sadah dan garam non-sadah. Penghilangan hanya garam sadah disebut pelunakan, sedangkan penghilangan total garam dari larutan disebut penghilangan mineral atau demineralisasi.

Proses pengolahan air eksternal dijelaskan dibawah ini.

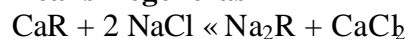
### ***Proses pertukaran ion (Plant Pelunakan)***

Pada proses pertukaran ion, kesadahan dihilangkan dengan melewati air pada *bed* zeolit alam atau resin sintetik dan tanpa pembentukan endapan. Jenis paling sederhana adalah 'pertukaran basa' dimana ion kalsium dan magnesium ditukar dengan ion sodium. Setelah jenuh, dilakukan regenerasi dengan sodium klorida. Garam sodium mudah larut, tidak membentuk kerak dalam boiler. Dikarenakan penukar basa hanya menggantikan kalsium dan magnesium dengan sodium, maka tidak mengurangi kandungan TDS, dan besarnya *blowdown*. Penukar basa ini juga tidak menurunkan alkalinitasnya.

**Reaksi pelunakan:**



**Reaksi regenerasi**



Demineralisasi merupakan penghilangan lengkap seluruh garam. Hal ini dicapai dengan menggunakan resin "kation", yang menukar kation dalam air baku dengan ion hidrogen menghasilkan asam hidroklorida, asam sulfat dan asam karbonat. Asam karbonat dihilangkan dalam menara *degassing* dimana udara dihembuskan melalui air asam. Berikutnya, air melewati resin "anion", yang menukar anion dengan asam mineral (misalnya asam sulfat) dan membentuk air. Regenerasi kation dan anion perlu dilakukan pada jangka waktu tertentu dengan menggunakan asam mineral dan soda kaustik. Penghilangan lengkap silika dapat dicapai dengan pemilihan resin anion yang benar. Proses pertukaran ion, jika diperlukan, dapat digunakan untuk demineralisasi yang hampir total, seperti untuk boiler pembangkit tenaga listrik.

### ***De-aerasi***

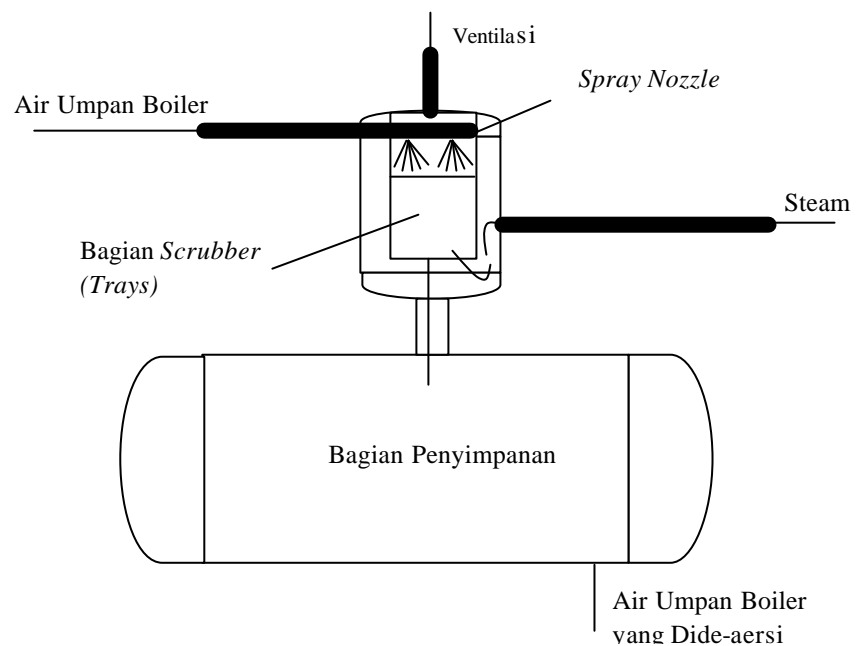
Dalam de-aerasi, gas terlarut, seperti oksigen dan karbon dioksida, dibuang dengan pemanasan awal air umpan sebelum masuk ke boiler. Seluruh air alam mengandung gas terlarut dalam larutannya. Gas-gas tertentu seperti karbon dioksida dan oksigen, sangat meningkatkan korosi. Bila dipanaskan dalam sistim boiler, karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan oksigen (O<sub>2</sub>) dilepaskan sebagai gas dan bergabung dengan air (H<sub>2</sub>O) membentuk asam karbonat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

Penghilangan oksigen, karbon dioksida dan gas lain yang tidak dapat terembunkan dari air umpan boiler sangat penting bagi umur peralatan boiler dan juga keamanan operasi. Asam karbonat mengkorosi logam menurunkan umur peralatan dan pemipaan. Asam ini juga melarutkan besi (Fe) yang jika kembali ke boiler akan mengalami pengendapan dan menyebabkan terjadinya pembentukan kerak pada boiler dan pipa. Kerak ini tidak hanya berperan dalam penurunan umur peralatan tapi juga meningkatkan jumlah energi yang diperlukan untuk mencapai perpindahan panas.

De-aerasi dapat dilakukan dengan de-aerasi mekanis, de-aerasi kimiawi, atau dua-duanya.

### De-aerasi mekanis

De-aerasi mekanis untuk penghilangan gas terlarut digunakan sebelum penambahan bahan kimia untuk oksigen. De-aerasi mekanis didasarkan pada hukum fisika Charles dan Henry. Secara ringkas, hukum tersebut menyatakan bahwa penghilangan oksigen dan karbon dioksida dapat disempurnakan dengan pemanasan air umpan boiler, yang akan menurunkan konsentrasi oksigen dan karbon dioksida di sekitar atmosfer air umpan. De-aerasi mekanis dapat menjadi yang paling ekonomis, beroperasi pada titik didih air pada tekanan dalam *de-aerator*. De-aerasi mekanis dapat berjenis vakum atau bertekanan.



**Gambar 14. De-aerasi mekanis**  
Referensi: Badan Produktivitas Nasional

De-aerator jenis vakum beroperasi dibawah tekanan atmosfer, pada suhu sekitar 82 °C, dan dapat menurunkan kandungan oksigen dalam air hingga kurang dari 0,02 mg/liter. Pompa vakum atau *steam ejectors* diperlukan untuk mencapai kondisi vakum.

De-aerator jenis bertekanan beroperasi dengan membiarkan steam menuju air umpan melalui klep pengendali tekanan untuk mencapai tekanan operasi yang dikehendaki, dan dengan suhu minimum 105°C. Steam menaikkan suhu air menyebabkan pelepasan gas O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan dari sistim. Jenis ini dapat mengurangi kadar oksigen hingga 0,005 mg/liter.

Bila terdapat kelebihan steam tekanan rendah, tekanan operasi dapat dipilih untuk menggunakan steam ini sehingga akan meningkatkan ekonomi bahan bakar. Dalam sistim boiler, steam lebih disukai untuk de-aerasi sebab:

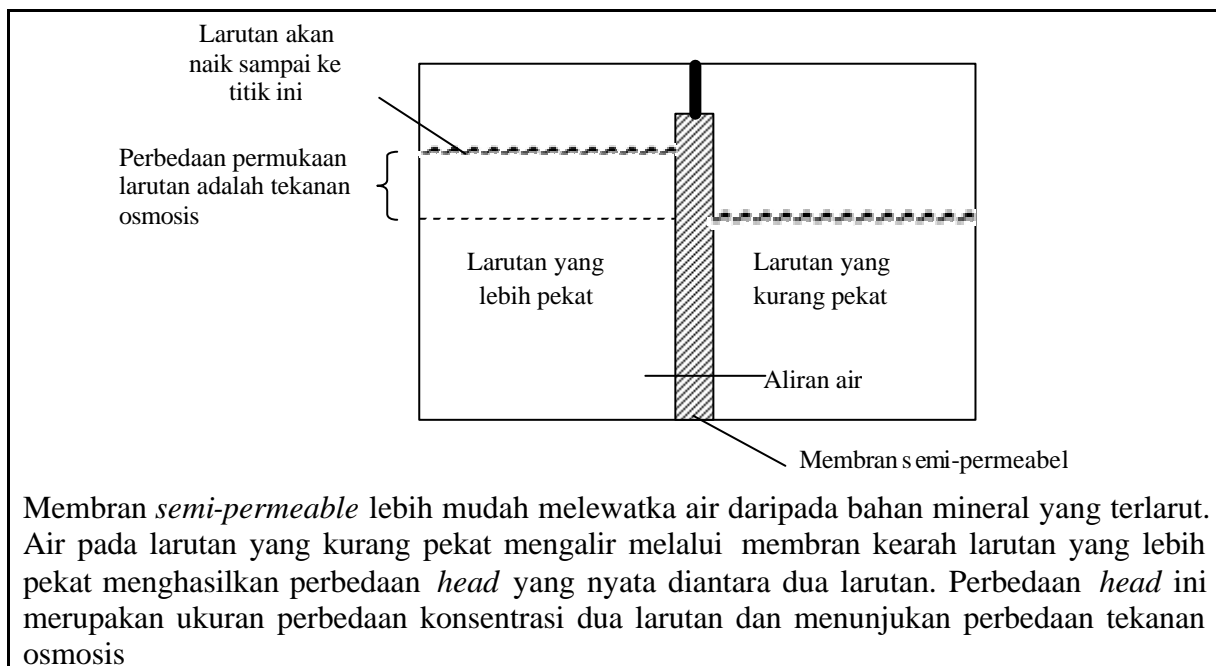
- Steam pada dasarnya bebas dari O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>
- Steam tersedia dengan mudah
- Steam menambah panas yang diperlukan untuk melengkapi reaksi

### De-aerasi kimiawi

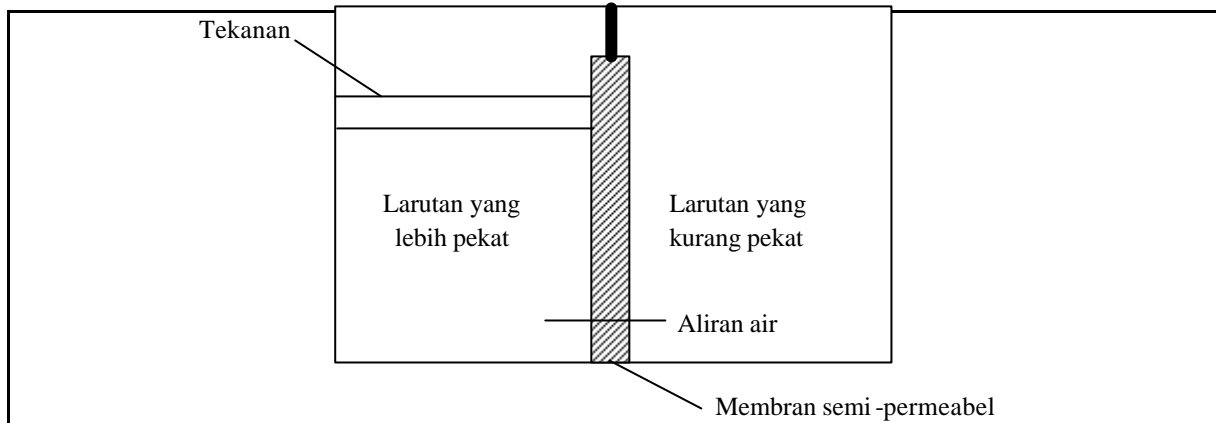
Sementara *deaerators* mekanis yang paling efisien menurunkan oksigen hingga ke tingkat yang sangat rendah (0,005 mg/liter), namun jumlah oksigen yang sangat kecil sekalipun dapat menyebabkan bahaya korosi terhadap sistim. Sebagai akibatnya, praktek pengoperasian yang baik memerlukan penghilangan oksigen yang sangat sedikit tersebut dengan bahan kimia pereaksi oksigen seperti sodium sulfit atau hidrasin. Sodium sulfit akan bereaksi dengan oksigen membentuk sodium sulfat yang akan meningkatkan TDS dalam air boiler dan meningkatkan *blowdown* dan kualitas air *make-up*. Hydrasin bereaksi dengan oksigen membentuk nitrogen dan air. Senyawa tersebut selalu digunakan dalam boiler tekanan tinggi bila diperlukan air boiler dengan padatan yang rendah, karena senyawa tersebut tidak meningkatkan TDS air boiler.

### **Osmosis balik**

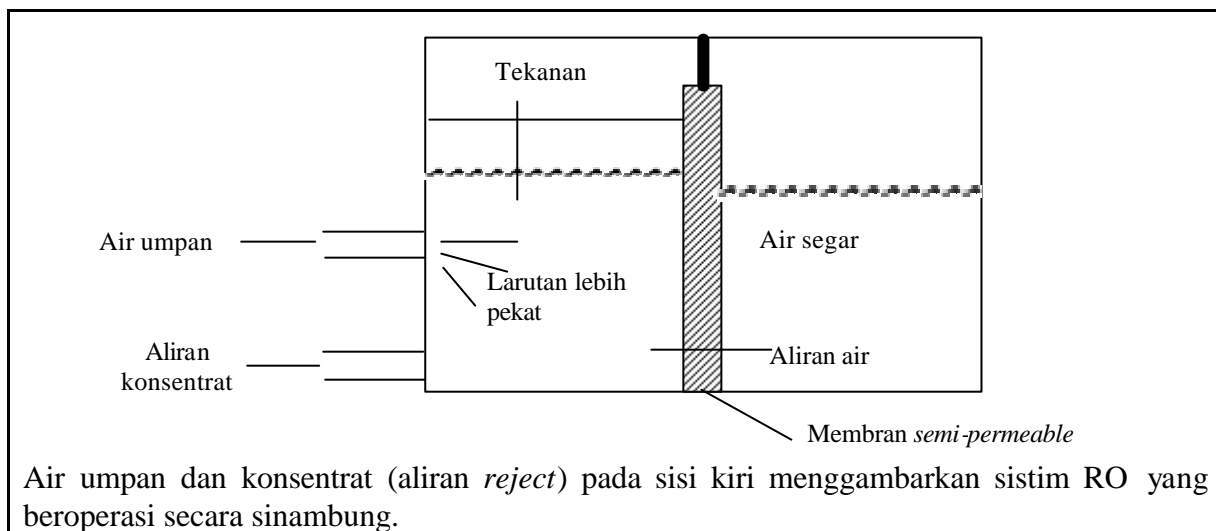
Osmosis balik menggunakan kenyataan bahwa jika larutan dengan konsentrasi yang berbeda-beda dipisahkan dengan sebuah membran *semi-permeable*, air dari larutan yang berkonsentrasi lebih kecil akan melewati membran untuk mengencerkan cairan yang berkonsentrasi tinggi. Jika cairan yang berkonsentrasi tinggi tersebut diberi tekanan, prosesnya akan dibalik dan air dari larutan yang berkonsentrasi tinggi mengalir ke larutan yang lebih lemah. Hal ini dikenal dengan osmosis balik.







Jika tekanan diberikan ke larutan yang pekat, yang kemudian lebih besar dari pada perbedaan tekanan osmosis, arah lintasan air melalui membran dibalik dan terjadi proses yang disebut sebagai osmosis balik. Dimana, kemampuan membran melewatkan air secara selektif tidak berubah, hanya arah aliran air yang dirubah



Air umpan dan konsentrat (aliran *reject*) pada sisi kiri menggambarkan sistim RO yang beroperasi secara sinambung.

Kualitas air yang dihasilkan tergantung pada konsentrasi larutan pada sisi tekanan tinggi dan perbedaan tekanan yang melintasi membran. Proses ini cocok untuk air yang memiliki TDS yang sangat tinggi, seperti air laut.

### 3.3.6 Rekomendasi untuk boiler dan kualitas air umpan

Kotoran yang ditemukan dalam boiler tergantung pada kualitas air umpan yang tidak diolah, proses pengolahan yang digunakan dan prosedur pengoperasian boiler. Sebagai aturan umum, semakin tinggi tekanan operasi boiler akan semakin besar sensitifitas terhadap kotoran.

REKOMENDASI BATAS AIR UMPAN (IS 10392, 1982)			
Faktor	Hingga 20 kg/cm <sup>2</sup>	21 - 39 kg/cm <sup>2</sup>	40- 59 kg/cm <sup>2</sup>
Total besi (maks.) ppm	0,05	0,02	0,01
Total tembaga (maks.) ppm	0,01	0,01	0,01
Total silika (maks.) ppm	1,0	0,3	0,1
Oksigen (maks.) ppm	0,02	0,02	0,01

Residu hidrasin ppm	-	-	-0,02-0,04
pH pada 25 <sup>0</sup> C	8,8-9,2	8,8-9,2	8,2-9,2
Kesadahan, ppm	1,0	0,5	-

REKOMENDASI BATAS AIR BOILER (IS 10392, 1982)			
Faktor	Hingga 20 kg/cm <sup>2</sup>	21 - 39 kg/cm <sup>2</sup>	40 - 59 kg/cm <sup>2</sup>
TDS, ppm	3000-3500	1500-2500	500-1500
Total padatan besi terlarut ppm	500	200	150
Konduktivitas listrik spesifik pada 25 <sup>0</sup> C (mho)	1000	400	300
Residu fosfat ppm	20-40	20-40	15-25
pH pada 25 <sup>0</sup> C	10-10,5	10-10,5	9,8-10,2
Silika (maks.) ppm	25	15	10

#### 4. PELUANG EFISIENSI ENERGI

Bagian ini berisikan tentang peluang efisiensi energi hubungannya dengan pembakaran, perpindahan panas, kehilangan yang dapat dihindarkan, konsumsi energi untuk alat pembantu, kualitas air dan *blowdown*.

Kehilangan energi dan peluang efisiensi energi dalam boiler dapat dihubungkan dengan pembakaran, perpindahan panas, kehilangan yang dapat dihindarkan, konsumsi energi yang tinggi untuk alat-alat pembantu, kualitas air dan *blowdown*

Berbagai macam peluang efisiensi energi dalam sistim boiler dapat dihubungkan dengan:

1. Pengendalian suhu cerobong
2. Pemanasan awal air umpan menggunakan *economizers*
3. Pemanas awal udara pembakaran
4. Minimalisasi pembakaran yang tidak sempurna
5. Pengendalian udara berlebih
6. Penghindaran kehilangan panas radiasi dan konveksi
7. Pengendalian *blowdown* secara otomatis
8. Pengurangan pembentukan kerak dan kehilangan jelaga
9. Pengurangan tekanan steam di boiler
10. Pengendalian kecepatan variabel untuk fan, blower dan pompa
11. Pengendalian beban boiler
12. Penjadwalan boiler yang tepat
13. Penggantian boiler

Semua hal diatas tersebut dijelaskan pada bagian dibawah ini.

##### 4.1 Pengendalian Suhu Cerobong

Suhu cerobong harus serendah mungkin. Walau demikian, suhu tersebut tidak boleh terlalu rendah sehingga uap air akan mengembun pada dinding cerobong. Hal ini penting bagi bahan bakar yang mengandung sulfur dimana pada suhu rendah akan mengakibatkan korosi titik embun sulfur. Suhu cerobong yang lebih besar dari 200<sup>0</sup>C menandakan adanya potensi untuk pemanfaatan kembali limbah panasnya. Hal ini juga menandakan telah terjadi pembentukan

kerak pada peralatan perpindahan/ pemanfaatan panas dan sebaiknya dilakukan *shut down* lebih awal untuk pembersihan air / sisi cerobong.

#### **4.2 Pemanasan Awal Air Umpan menggunakan *Economizers***

Biasanya, gas buang yang meninggalkan *shell* boiler modern 3 *pass* bersuhu 200 hingga 300 °C. Jadi, terdapat potensi untuk memanfaatkan kembali panas dari gas-gas tersebut. Gas buang yang keluar dari sebuah boiler biasanya dijaga minimal pada 200°C, sehingga sulfur oksida dalam gas buang tidak mengembun dan menyebabkan korosi pada permukaan perpindahan panas. Jika digunakan bahan bakar yang bersih seperti gas alam, LPG atau minyak gas, ekonomi pemanfaatan kembali panasnya harus ditentukan sebagaimana suhu gas buangnya mungkin dibawah 200 °C.

Potensi penghematan energinya tergantung pada jenis boiler terpasang dan bahan bakar yang digunakan. Untuk *shell* boiler dengan model lebih tua, dengan suhu gas cerobong keluar 260 °C, harus digunakan sebuah *economizer* untuk menurunkan suhunya hingga 200 °C, yang akan meningkatkan suhu air umpan sebesar 15 °C. Kenaikan dalam efisiensi termis akan mencapai 3 persen. Untuk *shell* boiler modern dengan 3 *pass* yang berbahan bakar gas alam dengan suhu gas cerobong yang keluar 140 °C, sebuah *economizer* pengembun akan menurunkan suhu hingga 65 °C serta meningkatkan efisiensi termis sebesar 5 persen.

#### **4.3 Pemanasan Awal Udara Pembakaran**

Pemanasan awal udara pembakaran merupakan sebuah alternatif terhadap pemanasan air umpan. Dalam rangka untuk meningkatkan efisiensi termis sebesar 1 persen, suhu udara pembakaran harus dinaikkan 20 °C. Hampir kebanyakan *burner* minyak bakar dan gas yang digunakan dalam sebuah *plant* boiler tidak dirancang untuk suhu pemanas awal udara yang tinggi.

*Burner* yang modern dapat tahan terhadap pemanas awal udara pembakaran yang lebih tinggi, sehingga memungkinkan untuk mempertimbangkan unit seperti itu sebagai penukar panas pada gas buang keluar, sebagai suatu alternatif terhadap *economizer*, jika ruang atau suhu air umpan kembali yang tinggi memungkinkan.

#### **4.4 Pembakaran yang Tidak Sempurna**

Pembakaran yang tidak sempurna dapat timbul dari kekurangan udara atau kelebihan bahan bakar atau buruknya pendistribusian bahan bakar. Hal ini nyata terlihat dari warna atau asap, dan harus segera diperbaiki.

Dalam sistim pembakaran minyak dan gas, adanya CO atau asap (hanya untuk sistim pembakaran minyak) dengan udara normal atau sangat berlebih menandakan adanya masalah pada sistim *burner*. Terjadinya pembakaran yang tidak sempurna disebabkan jeleknya pencampuran udara dan bahan bakar pada *burner*. Jeleknya pembakaran minyak dapat diakibatkan dari viskositas yang tidak tepat, ujung *burner* yang rusak, karbonisasi pada ujung *burner* dan kerusakan pada *diffusers* atau pelat *spinner*.

Pada pembakaran batubara, karbon yang tidak terbakar dapat merupakan kehilangan yang besar. Hal ini terjadi pada saat dibawa oleh grit atau adanya karbon dalam abu dan dapat

mencapai lebih dari 2 persen dari panas yang dipasok ke boiler. Ukuran bahan bakar yang tidak seragam dapat juga menjadi penyebab tidak sempurnanya pembakaran. Pada *chain grate stokers*, bongkahan besar tidak akan terbakar sempurna, sementara potongan yang kecil dan halus apat menghambat aliran udara, sehingga menyebabkan buruknya distribusi udara. Pada *sprinkler stokers*, kondisi *grate stoker*, distributor bahan bakar, pengaturan udara dan sistim pembakaran berlebihan dapat mempengaruhi kehilangan karbon. Meningkatnya partikel halus pada batubara juga meningkatkan kehilangan karbon.

#### 4.5 Pengendalian Udara Berlebih

Tabel dibawah memberikan jumlah teoritis udara pembakaran yang diperlukan untuk berbagai jenis bahan bakar.

Udara berlebih diperlukan pada seluruh praktek pembakaran untuk menjamin pembakaran yang sempurna, untuk memperoleh variasi pembakaran dan untuk menjamin kondisi cerobong yang memuaskan untuk beberapa bahan bakar. Tingkat optimal udara berlebih untuk efisiensi boiler yang maksimum terjadi bila jumlah kehilangan yang diakibatkan pembakaran yang tidak sempurna dan kehilangan yang disebabkan oleh panas dalam gas buang diminimalkan. Tingkatan ini berbeda-beda tergantung rancangan tungku, jenis *burner*, bahan bakar dan variabel proses. Hal ini dapat ditentukan dengan melakukan berbagai uji dengan perbandingan bahan bakar dan udara yang berbeda-beda.

<b>DATA PEMBAKARAN TEORITIS – BAHAN BAKAR BOILER BIASA</b> (Badan Produktivitas Nasional, pengalaman lapangan)		
<b>Bahan bakar</b>	<b>kg udara yang diperlukan/kg bahan bakar</b>	<b>Persen CO<sub>2</sub> dalam gas buang yang dicapai dalam praktek</b>
<b>Bahan bakar padat</b>		
Bagas	3,3	10-12
Batubara (bituminus)	10,7	10-13
Lignit	8,5	9 - 13
Sekam Padi	4,5	14-15
Kayu	5,7	11,13
<b>Bahan bakar cair</b>		
Minyak Bakar	13,8	9-14
LSHS	14,1	9-14

<b>JUMLAH UDARA BERLEBIH UNTUK BERBAGAI BAHAN BAKAR</b> (Badan Produktivitas Nasional, pengalaman lapangan)		
<b>Bahan bakar</b>	<b>Jenis Tungku atau <i>Burners</i></b>	<b>Udara Berlebih (persen berat)</b>
Batubara halus	Tungku dengan pendingin air lengkap untuk penghilangan kerak pada kran atau abu kering	15-20
	Tungku dengan pendingin air sebagian untuk penghilangan abu kering	15-40
Batubara	<i>Spreader stoker</i>	30-60
	<i>Water-cooler vibrating-grate stokers</i>	30-60
	<i>Chain-grate and traveling-grate stokers</i>	15-50
	<i>Underfeed stoker</i>	20-50
Bahan bakar minyak	<i>Burner</i> minyak, jenis <i>register</i>	15-20

	<i>Burner</i> multi-bahan bakar dan nyala datar	20-30
Gas alam	<i>Burner</i> tekanan tinggi	5-7
Kayu	<i>Dutch over</i> (10-23 persen melalui <i>grate</i> ) dan jenis Hofft	20-25
Bagas	Semua tungku	25-35
<i>Black liquor</i>	Tubgku pemanfaatan kembali untuk proses <i>draft</i> dan <i>soda-pulping</i>	30-40

Pengendalian udara berlebih pada tingkat yang optimal selalu mengakibatkan penurunan dalam kehilangan gas buang; untuk setiap penurunan 1 persen udara berlebih terdapat kenaikan efisiensi kurang lebih 0,6 persen.

Berbagai macam metode yang tersedia untuk mengendalikan udara berlebih:

- Alat analisis oksigen *portable* dan *draft gauges* dapat digunakan untuk membuat pembacaan berkala untuk menuntun operator menyetel secara manual aliran udara untuk operasi yang optimum. Penurunan udara berlebih hingga 20 persen adalah memungkinkan.
- Metode yang paling umum adalah penganalisis oksigen secara sinambung dengan pembacaan langsung ditempat, dimana operator dapat menyetel aliran udara. Penurunan lebih lanjut 10 – 15% dapat dicapai melebihi sistim sebelumnya.
- Alat analisis oksigen sinambung yang sama dapat memiliki *pneumatic damper positioner* yang dikendalikan dengan alat pengendali jarak jauh, dimana pembacaan data tersedia di ruang kendali. Hal ini membuat operator mampu mengendalikan sejumlah sistim pengapian dari jarak jauh secara serentak.

Sistim yang paling canggih adalah pengendalian *damper* cerobong otomatis, yang karena harganya hanya diperuntukkan bagi sistim yang besar.

#### **4.6 Minimalisasi Kehilangan Panas Radiasi dan Konveksi**

Permukaan luar *shell* boiler lebih panas daripada sekitarnya. Jadi, permukaan melepaskan panas ke lingkungan tergantung pada luas permukaan dan perbedaan suhu antara permukaan dan lingkungan sekitarnya.

Panas yang hilang dari *shell* boiler biasanya merupakan kehilangan energi yang sudah tertentu, terlepas dari keluaran boiler. Dengan rancangan boiler yang modern, kehilangan ini hanya 1,5 persen dari nilai kalor kotor pada kecepatan penuh, namun akan meningkat ke sekitar 6 persen jika boiler beroperasi hanya pada keluaran 25 persen.

Perbaikan atau pembesaran isolasi dapat mengurangi kehilangan panas pada dinding boiler dan pemipaan.

#### **4.7 Pengendalian *Blowdown* Otomatis**

*Blowdown* kontinyu yang tidak terkendali sangatlah sia-sia. Pengendali *blowdown* otomatis dapat dipasang yang merupakan sensor dan merespon pada konduktivitas air boiler dan pH. *Blowdown* 10 persen dalam boiler 15 kg/cm<sup>2</sup> menghasilkan kehilangan efisiensi 3 persen.

#### **4.8 Pengurangan Pembentukan Kerak dan Kehilangan Jelaga**

Pada boiler yang berbahan bakar minyak dan batubara, jelaga yang terbentuk pada pipa-pipa bertindak sebagai isolator terhadap perpindahan panas, sehingga endapan tersebut harus

dihilangkan secara teratur. Suhu cerobong yang meningkat dapat menandakan pembentukan jelaga yang berlebihan. Hasil yang sama juga akan terjadi karena pembentukan kerak pada sisi air. Suhu gas keluar yang tinggi pada udara berlebih yang normal menandakan buruknya kineja perpindahan panas. Kondisi ini dapat diakibatkan dari pembentukan endapan secara bertahap pada sisi gas atau sisi air. Pembentukan endapan pada sisi air memerlukan sebuah tinjauan pada cara pengolahan air dan pembersihan pipa untuk menghilangkan endapan. Diperkirakan kehilangan efisiensi 1 persen terjadi pada setiap kenaikan suhu cerobong 22°C.

Suhu cerobong harus diperiksa dan dicatat secara teratur sebagai indikator pengendapan jelaga. Bila suhu gas meningkat ke sekitar 20 °C diatas suhu boiler yang baru dibersihkan, maka waktunya untuk membuang endapan jelaga. Oleh karena itu direkomendasikan untuk memasang termometer jenis *dial* pada dasar cerobong untuk memantau suhu gas keluar cerobong.

Diperkirakan bahwa 3 mm jelaga dapat mengakibatkan kenaikan pemakaian bahan bakar sebesar 2,5 persen disebabkan suhu gas cerobong yang meningkat. Pembersihan berkala pada permukaan tungku *radiant*, pipa-pipa boiler, *economizers* dan pemanas udara mungkin perlu untuk menghilangkan endapan yang sulit dihilangkan tersebut.

#### **4.9 Penurunan Tekanan Steam pada Boiler**

Hal ini merupakan cara yang efektif dalam mengurangi pemakaian bahan bakar, jika diperbolehkan, sebesar 1 hingga 2 persen. Tekanan steam yang lebih rendah memberikan suhu steam jenuh yang lebih rendah dan tanpa pemanfaatan kembali panas cerobong, dimana dihasilkan penurunan suhu pada gas buang.

Steam dihasilkan pada tekanan yang sesuai permintaan suhu/tekanan tertinggi untuk proses tertentu. Dalam beberapa kasus, proses tidak beroperasi sepanjang waktu dan terdapat jangka waktu dimana tekanan boiler harus diturunkan. Namun harus diingat bahwa penurunan tekanan boiler akan menurunkan volum spesifik steam dalam boiler, dan secara efektif mende-aerasi keluaran boiler. Jika beban steam melebihi keluaran boiler yang terde-aerasi, pemindahan air akan terjadi. Oleh karena itu, manajer energi harus memikirkan akibat yang mungkin timbul dari penurunan tekanan secara hati-hati, sebelum merekomendasikan hal itu. Tekanan harus dikurangi secara bertahap, dan harus dipertimbangkan tidak boleh lebih dari 20 persen penurunan.

#### **4.10 Pengendali Kecepatan Variable Fan, Blower dan Pompa**

Pengendali kecepatan variabel merupakan cara penting dalam mendapatkan penghematan energi. Umumnya, pengendalian udara pembakaran dipengaruhi oleh klep penutup *dampers* yang dipasang pada fan *forced* dan *induced draft*. *Dampers* tipe terdahulu berupa alat kendali yang sederhana, kurang teliti, memberikan karakteristik kendali yang buruk pada kisaran operasi atas dan bawah. Umumnya, jika karakteristik beban boiler bervariasi, harus dievaluasi kemungkinan mengganti *dampers* dengan VSD.

#### **4.11 Pengendalian Beban Boiler**

Efisiensi maksimum boiler tidak terjadi pada beban penuh akan tetapi pada sekitar dua pertiga dari beban penuh. Jika beban pada boiler berkurang terus maka efisiensi juga

cenderung berkurang. Pada keluaran nol, efisiensi boilernya nol, dan berapapun banyaknya bahan bakar yang digunakan hanya untuk memasok kehilangan-kehilangan. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi boiler adalah:

- Ketika beban jatuh, begitu juga halnya dengan nilai laju aliran massa gas buang yang melalui pipa-pipa. Penurunan dalam laju alir untuk area perpindahan panas yang sama mengurangi suhu gas buang keluar cerobong dengan jumlah yang kecil, mengurangi kehilangan panas *sensible*.
- Beban dibawah separuhnya, hampir kebanyakan peralatan pembakaran memerlukan udara berlebih yang lebih banyak untuk membakar bahan bakar secara sempurna. Hal ini meningkatkan kehilangan panas *sensible*.

Umumnya, efisiensi boiler berkurang dibawah 25 persen laju beban dan operasi boiler dibawah tingkatan ini harus dihindarkan sejauh mungkin.

#### **4.12 Penjadwalan Boiler Tepat Waktu**

Karena efisiensi optimum boiler terjadi pada 65-85 persen dari beban penuh, biasanya akan lebih efisien, secara keseluruhan, untuk mengoperasikan lebih sedikit boiler pada beban yang lebih tinggi daripada mengoperasikan dalam jumlah banyak pada beban yang rendah.

#### **4.13 Penggantian Boiler**

Potensi penghematan dari penggantian sebuah boiler tergantung pada perubahan yang sudah diantisipasi pada efisiensi keseluruhan. Suatu perubahan dalam boiler dapat menarik secara finansial jika boiler yang ada:

- Tua dan tidak efisien
- Tidak mampu mengganti bahan bakar yang lebih murah dalam pembakarannya
- Ukurannya melampaui atau dibawah persyaratan yang ada
- Tidak dirancang untuk kondisi pembebanan yang ideal

Studi kelayakan harus menguji seluruh implikasi bahan bakar jangka panjang dan rencana pertumbuhan perusahaan. Harus dipertimbangkan seluruh faktor keuangan dan rekayasa. Karena *plant* boiler secara tradisional memiliki umur pakai lebih dari 25 tahun, penggantian harus dipelajari secara hati-hati.

### **5. DAFTAR PERIKSA OPSI**

Bagian ini melibatkan opsi-opsi paling umum untuk peningkatan efisiensi energi boiler.

#### **5.1 Tugas berkala dan pemeriksaan bagian luar boiler**

- Seluruh pintu masuk dan sambungan plat harus dijaga kedap udara dengan *gasket* yang efektif
- Seluruh sistim sambungancerobong harus tertutup secara efektif dan diisolasi bila perlu
- Dinding boiler dan bagian-bagiannya harus diisolasi secara efektif. Apakah isolasi yang ada mencukupi? Jika dilakukan pengisolasian terhadap boiler, pipa-pipa dan silinder air panas beberapa tahun yang lalu, isolasi ini tentunya sudah terlalu tipis sekalipun isolasi terlihat dalam kondisi yang baik. Ingat, isolasi ini dipasang ketika harga bahan bakar masih rendah. Menambah ketebalan mungkin diperlukan.

- Pada akhir dari waktu pemanasan, boiler harus ditutup secara seksama, permukaan bagian dalam yang terbuka selama musim panas ditutupi dengan lembaran yang berisikan *desiccant*. (Hanya dapat diterapkan terhadap boiler yang tidak beroperasi diantara musim pemanasan).

## **5.2 Boiler: Hal-hal lain untuk meningkatkan steam dan air panas boiler**

- Periksa secara teratur pembentukan kerak atau lumpur dalam tangki boiler atau memeriksa TDS air boiler setiap shift, namun tidak kurang dari sekali per hari. Kotoran dalam air boiler terkonsentrasi didalam boiler dan batasnya tergantung pada jenis boiler dan bebannya. *Blowdown* boiler harus diminimalkan, namun harus tetap menjaga kualitas airnya tetap pada batas yang benar. Memanfaatkan kembali panas dari air *blowdown*.
- Pada steam boiler, apakah perlakuan air sudah cukup untuk mencegah *foaming* atau *priming* dan apakah penggunaan bahan kimianya tidak berlebih?
- Untuk steam boiler: apakah pengendali ketinggian air beroperasi? Adanya pipa-pipa yang saling bersambungan dapat sangat membahayakan.
- Apakah dilakukan pengecekan secara berkala terhadap kebocoran udara disekitar pintu pemeriksaan boiler, atau diantara boiler dan cerobong ? Yang pertama dapat menurunkan efisiensi, yang berikutnya dapat mengganggu sirkulasi dan dapat mendorong terjadinya pengembunan, korosi dan kotoran.
- Kondisi pembakaran harus diperiksa dengan menggunakan alat analisis gas buang paling tidak dua kali per musim dan perbandingan bahan bakar/udara harus diset bila diperlukan.
- Tempat yang dideteksi dan dikontrol harus diberi label yang efektif dan diperiksa secara teratur.
- Kunci pengaman harus memiliki penyetel ulang manual dan alarm.
- Harus tersedia titik uji, atau alat indikator permanen harus dipasang pada *burner* untuk melihat kondisi operasi tekanan/suhu.
- Pada boiler yang berbahan bakar minyak atau gas, sebaiknya dibuat kotak sekering untuk kabel sistim sambungan yang dapat mematikan jika terjadi kebakaran atau panas yang berlebihan pada beberapa jalan lintasan yang dilewati karyawan; kotak sekering tersebut harus dipasang setinggi diatas tinggi kepala.
- Fasilitas untuk mematikan dalam keadaan darurat ditempatkan pada pintu keluar ruang boiler.
- Untuk mengurangi korosi, harus dijaga supaya terjadinya suhu air kondensat kembali yang jauh dibawah titik embun seminimal mungkin, terutamanya pada boiler berbahan bakar minyak dan batubara.
- Pengguna bahan bakar yang sangat besar kemungkinan memiliki jembatan timbang sendiri sehingga dapat mengoperasikan pemeriksaan langsung terhadap pengiriman. Jika tidak ada jembatan timbang, penimbangan dapat dilakukan di jembatan timbang umum (atau ke pabrik sekitar yang memiliki jembatan timbang) hanya untuk pemeriksaan? Untuk pengiriman bahan bakar cair dapat dicek dengan tongkat pengukur pada kendaraan.
- Pada *plant* boiler, harus dipastikan bahwa bahan bakar yang digunakan sesuai dengan kebutuhan. Pada bahan bakar padat, kualitas atau ukuran yang benar adalah penting, dan kadar abu dan uap air harus direncanakan sejak awal oleh perancang pabrik. Pada bahan bakar minyak, harus dipastikan bahwa viskositas pada *burner* sudah benar, dan diperiksa juga suhu bahan bakar minyak.
- Pemantauan terhadap penggunaan bahan bakar harus seteliti mungkin. Pengukuran terhadap persediaan bahan bakar harus realistis.



- Pada *burner* minyak, sebaiknya diperiksa setiap bagiannya dan diperbaiki. Nosel pada *burner* harus diganti secara teratur dan dibersihkan dengan hati-hati untuk mencegah kerusakan pada ujung *burner*.
- Prosedur pemeliharaan dan perbaikan harus ditinjau terutama untuk peralatan *burner*, peralatan pengendalian dan pemantauan.
- Pembersihan secara teratur permukaan perpindahan panas menjaga efisiensi pada tingkat yang setinggi mungkin.
- Harus diyakinkan bahwa para operator boiler mengenal prosedur operasi terutama terhadap peralatan kendali yang baru.
- Sebaiknya diteliti kemungkinan memanfaatkan kembali panas dari gas-gas yang keluar dari boiler? Alat penukar panas/ *recuperators* tersedia untuk hampir semua jenis dan ukuran boiler.
- Tangki umpan dan *header* harus diperiksa untuk setiap kebocoran pada kran *make up*, isolasi yang benar atau kehilangan air dalam pengurusan
- Pabrik pembuat alat kemungkinan telah memasang isolasi pada boiler *plant*. Apakah isolasi masih cukup untuk kondisi biaya bahan bakar saat ini? Diperiksa juga ketebalan optimumnya.
- Jika jumlah *steam* yang dihasilkan terlalu besar, investasikan sebuah alat pengukur *steam*.
- Ukur keluaran *steam* dan bahan bakar yang masuk. Perbandingan *steam* terhadap bahan bakar merupakan ukuran utama efisiensi pada boiler.
- Gunakan sistem pemantauan yang disediakan: akan menampilkan berbagai tanda kerusakan..
- Air umpan harus diperiksa secara teratur untuk kuantitas dan kemurnian.
- Alat pengukur *steam* harus secara berkala terhadap kemungkinan kerusakan karena erosi pada lubang pengukuran atau *pilot head*. Harus diperhatikan bahwa pengukur *steam* hanya memberikan pembacaan yang benar pada tekanan *steam* yang sudah dikalibrasi. Kalibrasi ulang mungkin diperlukan.
- Periksa seluruh pekerjaan pipa, sambungan-sambungan dan *steam traps* dari kebocoran, bahkan dalam ruang yang tidak dapat dimasuki sekalipun.
- Pipa-pipa yang tidak digunakan harus dipisahkan dan pipa-pipa yang berlebihan harus dikurangi
- Harus ditunjuk seseorang untuk mengoperasikan dan memelihara setelah pemasangan yang harus diikutsertakan dalam spesifikasi pekerjaan.
- Catatan dasar harus tersedia pada orang yang ditunjuk dalam bentuk gambar, perintah operasi dan pemeliharaan secara rinci.
- Buku pencatat data harian harus mencatat secara rinci tentang perawatan yang dilakukan, pembacaan gas hasil pembakaran, konsumsi bahan bakar mingguan atau bulanan, dan keluhan-keluhan yang ada.
- Harus dijaga agar tekanan *steam* tidak lebih dari yang dibutuhkan untuk pekerjaan. Bila beban bahan pada malam hari lebih kecil daripada beban pada siang hari, perlu dipertimbangkan pemasangan sebuah saklar tekanan untuk tekanan beragam dengan rentang yang lebih luas pada malam hari untuk mengurangi frekuensi matinya *burner*, atau membatasi laju maksimum pembakaran *burner*.
- Diperiksa kebutuhan pemeliharaan boiler dalam kondisi *standby* – disini sering terjadi kehilangan panas yang tidak terduga. Boiler yang sedang tidak bekerja harus dijauhkan dari fluida dan gas.
- Harus tersedia data harian yang baik untuk kegiatan ruang boiler sehingga kinerjanya dapat diukur terhadap target. Pemeriksaan pembakaran, dll. dengan instrumen *portable*, harus dilakukan secara reguler, kondisi beban boiler seperti: persen CO<sub>2</sub> pada nyala beban penuh/separuh, dll. Harus dicatat dalam buku data harian.

- Dilakukan pemeriksaan untuk meyakinkan bahwa fluktuasi beban yang parah tidak diakibatkan oleh pengoperasian alat pembantu yang tidak tepat dalam uang boiler, sebagai contoh, Kontrol ON/OFF untuk umpan, sistim pengatur umpan yang rusak atau rancangan *header* yang tidak benar.
- Diperiksa dosis bahan aditif anti korosi pada sistim pemanasan air panas setiap tahun untuk melihat bahwa konsentrasinya masih tepat. dipastikan bahwa bahan aditif ini TIDAK tidak dimasukkan ke tangk i pemanas air panas domestik, karena hal ini akan mencemari air kran.
- Dilakukan kemanfaatan kembali seluruh kondensat jika memungkinkan didalam praktek dan jika memungkinkan mendapatkan penghematan.

### **5.3 Ruang boiler dan ruang *plant***

- Pembukaan ventilasi harus dijaga agar bebas dan bersih sepanjang waktu dan area pembukaan harus diperiksa apakah sudah mencukupi.
- Ruang *plant* jangan digunakan untuk tempat keperluan penyimpanan, untuk angin-angin atau pengeringan.
- Apakah pemeliharaan pompa dan klep otomatis telah dilakukan sesuai dengan petunjuk pabrik pembuatnya?
- Apakah unit pompa yang jalan dan *standby* bergantian kurang lebih sekali per bulan?
- Apakah tersedia klep pengisolasi pompa?
- Apakah disediakan titik uji tekanan/ panas dan/atau indikator pada setiap sisi pompa?
- Apakah pada *casings* pompa disediakan fasilitas pelepasan udara?
- Apakah bagian yang bergerak (misal kopling) dilindungi?
- Yakinkan bahwa ketelitian instrumen diperiksa secara teratur.
- Periksa secara visual seluruh pekerjaan pipa dan klep dari berbagai kebocoran.
- Periksa bahwa seluruh peralatan keamanan beroperasi secara efisien.
- Periksa seluruh kontak listrik untuk melihat bahwa semuanya bersih dan aman.
- Yakinkan bahwa seluruh instrumen tertutup dan pelindung keselamatan berada pada tempatnya.
- Periksa seluruh alat sensor, yakinkan dalam kondisi bersih, tidak terhalangi dan tidak terbuka kearah kondisi yang perlu, sebagai contoh sensor suhu harus tidak terbuka ke cahaya matahari langsung, juga tidak ditempatkan dekat pipa panas atau *plant* proses.
- Yakinkan bahwa hanya karyawan resmi yang diperbolehkan masuk ke peralatan kendali.
- Setiap bagian di *plant* harus beroperasi bila perlu sekali, dan sebaiknya dikendalikan secara otomatis.
- Pengendalian waktu harus saling tersambung dan operasi seluruh *plant* sebaiknya otomatis.
- Pada pemasangan beberapa boiler, jauhkan *boiler* yang tidak diperlukan pada sisi air dan, jika aman dan memungkinkan, pada sisi gas. Yakinkan boiler-boiler tersebut tidak dapat terbakar.
- Pengisolasian sistim gas buang (untuk perlindungan) juga menurunkan kehilangan panas.
- Pada pemasangan banyak boiler, kontrol kemajuan/keterlambatan harus memiliki fasilitas pergantian.
- Bila memungkinkan, penurunan suhu operasi sistim harus dibuat menggunakan peralatan eksternal ke boiler dan dengan pengoperasian boiler dibawah kisaran suhu konstan yang normal.

### **5.4 Air dan steam**

- Air yang diumpankan ke boiler harus memenuhi spesifikasi yang diberikan oleh pabrik pembuatnya. Air harus bersih, tidak berwarna dan bebas dari kotoran yang tersuspensi.
- Kesadahan nol. Maksimum 0,25 ppm CaCO<sub>3</sub>.
- pH 8 hingga 10 memperlambat aksi atau korosi. pH kurang dari 7 mempercepat korosi dikarenakan aksi asam.
- O<sub>2</sub> terlarut kurang dari 0,02 mg/l. Adanya SO<sub>2</sub> mengakibatkan korosi.
- CO<sub>2</sub> harus dijaga rendah. Keberadaannya dengan O<sub>2</sub> menyebabkan korosi, terutama pada tembaga dan bearing dengan bahan campuran tembaga.
- Air harus bebas dari minyak – hal ini akan menyebabkan *priming*.

### 5.5 Air boiler

- Air harus bersifat basa – dibawah 150 ppm CaCO<sub>3</sub> dan diatas 50 ppm CaCO<sub>3</sub> pada pH 8,3 – Nilai alkalinitas/kebasaannya harus lebih kecil dari 120.
- Padatan totalnya harus dijaga dibawah nilai dimana pencemaran steam menjadi berlebihan, untuk menghindari pendinginan berlebih dan bahaya pengendapan pada pemanasan berlebih, pipa saluran steam dan sistim penggerak.
- Posfat harus tidak lebih dari 25 ppm P<sub>2</sub> O<sub>5</sub>.
- Kandunga silika pada air umpan *make up* harus kurang dari 40 ppm dalam air boiler dan 0,02 ppm dalam steam, sebagai SiO<sub>2</sub>. Jumlah yang besar dapat terbawa ke sudu-sudu turbin.

Konsentasi Air Boiler Maksimum yang direkomendasikan oleh Gabungan Produsen Boiler Amerika	
Tekanan Steam pada Boiler (ata)	Konsentasi Air Boiler Maksimum (ppm)
0-20	3500
20-30	3000
30-40	2500
40-50	2000
50-60	1500
60-70	1250
70-100	1000

- *Plant* pengolahan air yang tepat harus dipasang untuk menjamin kemurnian air, dan sejumlah bahan kimia harus ditambahkan untuk pengendalian kualitas air boiler selanjutnya. *Blowdown* harus diatur ulang bila terjadi kenaikan konsentrasi melebihi batas yang diperbolehkan seperti yang sudah ditetapkan oleh pabrik pembuatnya.
- Alkalinitas tidak boleh melebihi 20 persen dari konsentrasi total. Ketinggian air boiler harus dijaga dengan benar. Biasanya disediakan 2 buah kaca pemantau untuk meyakinkan hal ini.
- Para operator harus mem-*blowdown* secara teratur pada setiap siftnya, atau paling tidak sekali per hari jika boiler dioperasikan kurang dari 24 jam sehari.

### 5.6 Prosedur *Blowdown* (BD)

Prosedur konvensional dan yang dapat diterima untuk *blowdown* adalah sebagai berikut:

1. Tutup kran air
2. Buka kran pembuangan (supaya steam keluar dengan bebas)
3. Tutup kran pembuangan

4. Tutup kran steam
5. Buka keran air
6. Buka kran pembuangan (supaya steam keluar dengan bebas)
7. Tutup kran pembuangan
8. Buka kran steam
9. Buka kemudian tutup kran pembuangan untuk akhir proses *blowdown*.

Air yang pertama muncul biasanya mewakili air boiler. Jika airnya berwarna, harus dicari tahu penyebabnya.

## 6. LEMBAR KERJA DAN *TOOLS* LAINNYA

Bagian ini berisi lembar kerja (Kinerja Boiler; Lembar Pengumpulan Data; Lembar Analisis Bahan Bakar) dan *tools* lainnya (Daftar Periksa Kinerja Boiler, *Rules of Thumb*; Hal yang Boleh dan Tidak Boleh dilakukan)

### 6.1 Lembar Kerja

#### Lembar Kerja Boiler 1. KINERJA BOILER

No.	Parameter	Satuan	Pembacaan
1	<b>Analisis <i>ultimate</i></b>		
	Karbon	persen	
	Hidrogen	persen	
	Oksigen	persen	
	Sulfur	persen	
	Nitrogen	persen	
	Kadar Air	persen	
	Abu	persen	
2	GCV Bahan Bakar	Kkal/kg	
3	Oksigen dalam Gas Buang	persen	
4	Suhu Gas Buang ( $T_f$ )	$^{\circ}\text{C}$	
5	Suhu Ambien ( $T_a$ )	$^{\circ}\text{C}$	
6	Kelembaban Udara	Kg/kg udara kering	
7	Bahan yang mudah terbakar dalam Abu	Persen	
8	GCV Abu	Kkal/kg	
9	Pasokan Udara Berlebih (EA) $(\text{O}_2 \times 100)/(\text{21} - \text{O}_2)$	Persen	

No.	Parameter	Satuan	Pembacaan
10	Kebutuhan udara teoritis (TAR) $[11 \times C + \{34,5 \times (H_2 - O_2/8)\} + 4,32 \times S]/100$	kg/kg bahan bakar	
11	Massa udara aktual yang dipasang $\{1 + EA/100\} \times$ udara teoritis	kg/kg bahan bakar	
12	Persen panas yang hilang karena gas buang kering $\{k \times (T_f - T_a)\} /$ persen CO <sub>2</sub> Dimana, k (Konstanta Seigert) = 0,65 untuk Batubara = 0,56 untuk Minyak = 0,40 untuk Gas Alam	persen	
13	Persen panas yang hilang karena penguapan air yang terbentuk dari H <sub>2</sub> dalam bahan bakar $[9 \times H_2 \{584 + 0,45(T_f - T_a)\}] /$ GCV Bahan bakar	persen	
14	Persen panas yang hilang karena penguapan uap air dalam bahan bakar $[M \times \{584 + 0,45 \times (T_f - T_a)\}] /$ GCV Bahan bakar	persen	
15	Persen panas yang hilang karena kadar air dalam udara $\{AAS \times Kelembaban \times 0,45 (T_f - T_a) \times 100\} /$ GCV Bahan bakar	persen	
16	Persen panas yang hilang karena bahan yang mudah terbakar/ <i>combustible</i> dalam abu $\{Abu \times (100 - \textit{combustible} dlm abu) \times GCV Abu \times 100\} /$ GCV Bahan bakar	persen	
17	Kehilangan Total	persen	
18	Efisiensi	persen	

**Lembar Kerja Boiler 2: LEMBAR PENGUMPULAN DATA**

No. S	Parameter	Satuan	Pembacaan
1	Jenis Boiler		
2	Jumlah Steam yang Dihasilkan	TPJ	
3	Tekanan Steam	Kg/cm <sup>2</sup> (g)	
4	Suhu Steam	°C	
5	Bahan Bakar yang Digunakan (Batubara/Minyak/Gas dll.)		
6	Jumlah Pemakaian Bahan Bakar	TPJ	

No. S	Parameter	Satuan	Pembacaan
7	GCV Bahan Bakar	kcal/kg	
8	Suhu Air Umpan	<sup>0</sup> C	
9	Oksigen dalam Gas Buang	Persen	
10	Suhu Gas Buang (T <sub>f</sub> )	<sup>0</sup> C	
11	Suhu Ambien (T <sub>a</sub> )	<sup>0</sup> C	
12	Kelembaban Udara	Kg/kg udara kering	
13	Bahan yang Mudah Terbakar Dalam Abu	Persem	
14	GCV Abu	Kkal/kg	

### Lembar Kerja Boiler 3: LEMBAR ANALISIS BAHAN BAKAR

No.	Parameter	Satuan	Pembacaan
1	<b>Analisa Ultimate</b>		
	Karbon	persen	
	Hidrogen	persen	
	Oksigen	persen	
	Sulfur	persen	
	Nitrogen	persen	
	Uap Air	persen	
	Abu	persen	
2	GCV Bahan Bakar	Kkal/kg	

## 6.2 Daftar Periksa Berkala Boiler

Daftar Periksa Berkala Boiler				
Sistim	Harian	Mingguan	Bulanan	Tahunan
Blowdown (BD) dan Pengolahan Air	Periksa klep BD tidak bocor. BD tidak berlebihan	-	Yakikan tidak terjadi penumpukan bahan padat	-
Sistim Air Umpan	Periksa dan betulkan ketinggian air yang tidak tetap. Pastikan penyebab tidak tetapnya ketinggian air, kelebihan beban pencemar, kerusakan, dll.	Periksa pengendali dengan menghentikan pompa air umpan dan membiarkan pengendali menghentikan bahan bakar.	Tidak ada	Penerima kondensat, pompa sistim deaerator

*Peralatan Energi Panas: Boiler & Pemanas Fluida Termis*

<b>Daftar Periksa Berkala Boiler</b>				
<b>Sistim</b>	<b>Harian</b>	<b>Mingguan</b>	<b>Bulanan</b>	<b>Tahunan</b>
Gas Buang	Periksa suhu pada dua titik yang berbeda	Ukur suhu dan bandingkan komposisinya pada pembakaran yang berbagai dan setel klep yang telah direkomendasikan	Sama dengan mingguan. Bandingkan dengan pembacaan sebelumnya.	Sama dengan mingguan, rekam acuannya
Pasokan Udara Pembakaran			Periksa kecukupan pembukaan pada udara masuk. Bersihkan lintasan	
<i>Burners</i>	Periksa apakah beroperasi baik. Mungkin perlu pembersihan beberapa kali dalam sehari.	Bersihkan <i>burners</i> , <i>pilot assemblies</i> , periksa kondisi celah percikan elektroda pada <i>burners</i>	Sama dengan mingguan	Sama dengan mingguan, bersihkan dan rekondisikan
Karakteristik operasi boiler		Amati kegagalan nyala api dan karakteristiknya		
Klep pertolongan		Periksa dari kebocoran		Ambil dan rekondisikan
Tekanan <i>Steam</i>	Periksa beban berlebih yang dapat menyebabkan variasi berlebih pada tekanan			
Sistim Bahan Bakar			Peiksa pompa, pengukur tekanan, alur perpindahan Bersihkan.	Bersihkan dan rekondisikan sistim
<i>Belt</i> untuk <i>gland packing</i>			Periksa kerusakan Periksa <i>gland packing</i> dari kebocoran dan kompresi yang tepat	
Kebocoran udara pada permukaan sisi air dan sisi api				Bersihkan permukaan setiap tahun sebagaimana rekomendasi pabrik pembuatnya.
Kebocoran udara				Periksa kebocoran disekitar akses pembukaan dan nyala api
Refraktori pada sisi bahan bakar				Perbaiki
Sistim ke listrikan		Bersihkan panel luar	Periksa panel dibagian dalam	Bersihkan, perbaiki terminal dan kontak-kontak dll.
Klep hidrolik dan pneumatik			Bersihkan peralatan, hindari tumpahan minyak dan kebocoran udara	Perbaiki seluruh kerusakan dan periksa operasi yang semestiy

### 6.3 Aturan umum (“*Rules of Thumb*”)

- Penurunan 5 persen udara berlebih meningkatkan efisiensi boiler sebesar 1 persen (atau 1 persen penurunan residu oksigen dalam gas cerobong meningkatkan efisiensi boiler sebesar 1 persen).
- Penurunan suhu gas buang sebesar 22 °C meningkatkan efisiensi boiler 1 persen.
- Kenaikan 6 °C suhu air umpan karena penggunaan *economizer*/pemanfaatan kembali kondensat, terdapat penghematan bahan bakar boiler 1 persen
- Kenaikan 20 °C suhu udara pembakaran, yang dipanaskan awal oleh pemanfaatan kembali limbah panas, menghasilkan penghematan bahan bakar 1 persen.
- Lubang berdiameter 3 mm pada pipa steam 7 kg/cm<sup>2</sup> akan memboroskan 32.650 liter bahan bakar minyak per tahun.
- Pipa steam 100 m yang terbuka dengan diameter 150 mm yang membawa steam jenuh pada tekanan 8 kg/cm<sup>2</sup> akan memboroskan 25 000 liter bahan bakar minyak per tahun.
- Kehilangan panas sebesar 70 persen dapat diturunkan dengan mengambangkan bola plastik polipropilen berdiameter 45 mm pada permukaan cairan/kondensat panas bersuhu 90 °C.
- Fim udara setebal 0,25 mm memberikan resistansi terhadap perpindahan panas yang sama dengan dinding tembaga dengan setebal 330 mm.
- Endapan jelaga 3 mm pada permukaan perpindahan panas dapat menyebabkan kenaikan pemakaian bahan bakar sebesar 2,5 persen.
- Endapan kerak setebal 1 mm pada sisi air dapat meningkatkan pemakaian bahan bakar 5 hingga 8 persen.

### 6.4 Hal yang Harus Dilakukan dan Tidak Dilakukan pada Boiler

<b>Dilakukan dan Tidak Dilakukan pada Boiler</b>	
<b>Lakukan</b>	<b>Tidak Lakukan</b>
1. Tiup jelaga secara teratur	1. Jangan nyalakan pemantik api secara mendadak setelah api habis (pembersihan)
2. Bersihkan pengukur gelas <i>blowdown</i> sekali tiap satu sift	2. Jangan lakukan <i>blowdown</i> jika tidak perlu
3. Periksa klep keamanan seminggu sekali	3. Jangan biarkan pintu tungku terbuka jika tidak perlu
4. <i>Blowdown</i> pada setiap sift, sesuai keperluan	4. Jangan sering menghembus klep pengaman (kendali operasi)
5. Jaga seluruh pintu tungku tertutup	5. Jangan memberikan aliran berlebih pada <i>hopper</i> abu
6. Kendalikan sirkulasi tungku	6. Jangan menaikkan laju pembakaran melebihi yang diperbolehkan
7. Bersihkan, <i>hopper</i> pembuangan abu setiap sift	7. Jangan mengumpalkan air baku
8. Jaga asap cerobong dan pengendali api	8. Jangan mengoperasikan boiler pada aliran tertutup
9. Periksa pengendali otomatis pada bahan bakar dengan menghentikan sekali waktu air umpan untuk jangka waktu pendek	9. Jangan memberi beban berlebih pada boiler
10. Perhatikan kebocoran secara berkala	10. Jangan membiarkan ketinggian air terlalu tinggi atau terlalu rendah
11. Periksa seluruh klep, <i>damper</i> , dll untuk operasi yang benar seminggu sekali	11. Jangan mengoperasikan penghembus jelaga pada beban tinggi
12. Beri pelumas seluruh alat mekanik untuk berfungsi mulus	12. Jangan jala nkan kipas ID manakala sedang dalam operasi
13. Jaga switchboards rapi dan bersih dan sistim penunjuk sesuai dengan perintah pekerjaan	13. Jangan melihat langsung api dalam tungku, gunakan kaca mata keamanan yang berwarna
14. Jaga kebersihan area, bebas debu	14. Hindarkan <i>bed</i> bahan bakar yang tebal
15. Jaga alat pemadam kebakaran selalu dalam keadaan siap. Lakukan latihan yang diselenggarakan sebulan sekali	
16. Seluruh lembar data harian harus diisi secara sungguh-sungguh	



- |  |  |
|--|--|
| 17. Jalanan fan FD jika fan ID mati  | 15. Jangan biarkan boiler diserahkan ke operator/ teknisi yang tidak terlatih  |
| 18. Perekam CO <sub>2</sub> atau O <sub>2</sub> harus diperiksa /dikalibrasi tiga bulan sekali | 16. Jangan mengabaikan pengamatan yang tidak biasa (perubahan suara, perubahan kinerja, kesulitan pengendalian), periksa |
| 19. <i>Traps</i> harus diperiksa dan diurus secara berkala                                     | 17. Jangan melewatkan pemeliharaan tahunan   |
| 20. Kualitas steam, air harus diperiksa sehari sekali, atau sekali tiap sift                   | 18. jangan mencat boiler   |
| 21. Kualitas bahan bakar harus diperiksa seminggu sekali                                       | 19. Jangan biarkan terjadinya pembentukan steam pada <i>economizer</i> (jaga suhu.)                                      |
| 22. Jaga saluran pembuangan sub pemanas terbuka selama <i>start up</i>                         | 20. Jangan biarkan <i>grate</i> terbuka (sebarakan secara merata)  |
| 23. Jaga kran air terbuka selama <i>start</i> dan tutup  | 21. Jangan mengoperasikan boiler dengan pipa air yang bocor  |

## 7. REFERENSI

- Agriculture and Agri-Food Canada. *Heat recovery for Canadian food and beverage industries*. 2001. [www.agr.gc.ca/cal/epub/5181e/5181-0007\\_e.html](http://www.agr.gc.ca/cal/epub/5181e/5181-0007_e.html)
- Considine, Douglas M. *Energy Technology Handbook*. McGraw Hill Inc, New York. 1977.
- Department of Coal Publications, Government of India. *Fluidised Bed Coal-Fired Boilers*
- Department of Coal, India, prepared by National Productivity Council. *Coal – Improved Techniques for Efficiency*. 1985
- Elonka, Jackson M., and Alex Higgins, *Steam Boiler Room Questions & Answers*, Third Edition
- Energy Machine, India. *Energy Machine Products, Thermic Fluid Heater: Flowtherm series*. [www.warmstream.co.in/prod-em-thermic-fluid-heaters.html](http://www.warmstream.co.in/prod-em-thermic-fluid-heaters.html)
- Gunn, D., and Horton, R. *Industrial Boilers*, Longman Scientific & Technical, New York
- India Energy Bus Project, *Industrial Heat Generation and Distribution*. NIFES Training Manual Issued for CEC
- IS 10392, 1982
- Jackson, J. James, *Steam Boiler Operation*. Prentice-Hall Inc., New Jersey. 1980.
- Light Rail Transit Association, Trams for Bath. *D.C. Power stations – Boilers*. [www.bathtram.org/tfb/tT111.htm](http://www.bathtram.org/tfb/tT111.htm)
- National Coal Board. *Fluidised Combustion of Coal*. London
- National Productivity Council. *Efficient Operation of Boilers*
- Pincus, Leo I. *Practical Boiler Water Treatment*. McGraw Hill Inc., New York. 1962.
- Sentry Equipment Corp. *Continuous Blowdown Heat Recovery Systems for boilers rated 35 to 250 PSIG. Installation, Operating and Maintenance Instructions. SD 170, Rev. 4, 2/6*. [www.sentry-equip.com/PDF%20files/Blowdown%201730%20Rev.%204.PDF](http://www.sentry-equip.com/PDF%20files/Blowdown%201730%20Rev.%204.PDF). 2006.
- Shields, Carl D. *Boilers*. McGraw Hill Book Company, U.S, 1961.
- Spirax Sarco. *Module 3 of Spirax Sarco's web based Learning Centre*. [www.spiraxsarco.com/learn](http://www.spiraxsarco.com/learn)
- Technical Papers, Boiler Congress - 2000 Seminar, 11 & 12 January 2000

## *Peralatan Energi Panas: Boiler & Pemanas Fluida Termis*

TERI, GTZ and EMC . *Steam Generation, Distribution and Utilisation*

Thermax Babcock & Wilcox Limited. *CFBC Boilers*. 2001.

[www.tbwindia.com/boiler/cfbc\\_system.asp](http://www.tbwindia.com/boiler/cfbc_system.asp)

University of Missouri, Colombia. *Energy Management – Energizing Mizzou*. 2004.

[www.cf.missouri.edu/energy/](http://www.cf.missouri.edu/energy/)

YourDictionary.com. *Water tube boiler*. 2004

[www.yourdictionary.com/images/ahd/jpg/A4boiler.jpg](http://www.yourdictionary.com/images/ahd/jpg/A4boiler.jpg)

Websites:

[www.eren.doe.gov](http://www.eren.doe.gov)

[www.oit.doe.gov/bestpractices](http://www.oit.doe.gov/bestpractices)

[www.pcra.org](http://www.pcra.org)

[www.energy-efficiency.gov.uk](http://www.energy-efficiency.gov.uk)

[www.actionenergy.org.uk](http://www.actionenergy.org.uk)

[www.cia.org.uk](http://www.cia.org.uk)

[www.altenergy.com](http://www.altenergy.com)

### **Copyright:**

Copyright © United Nations Environment Programme (year 2006)

*This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source. No use of this publication may be made for resale or any other commercial purpose whatsoever without prior permission from the United Nations Environment Programme.*

### **Hak Cipta:**

Hak cipta © United Nations Environment Programme (year 2006)

*Publikasi ini boleh digandakan secara keseluruhan atau sebagian dalam segala bentuk untuk pendidikan atau keperluan non-profit tanpa ijin khusus dari pemegang hak cipta, harus mencantumkan sumber yang membuat. UNEP akan menghargai pengiriman salinan dari setiap publikasi yang menggunakan publikasi ini sebagai sumber. Tidak diijinkan untuk menggunakan publikasi ini untuk dijual belikan atau untuk keperluan komersial lainnya tanpa ijin khusus dari United Nations Environment Programme.*

### **Disclaimer:**

*This energy equipment module was prepared as part of the project "Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific" (GERIAP) by the National Productivity Council, India. While reasonable efforts have been made to ensure that the contents of this publication are factually correct and properly referenced, UNEP does not accept responsibility for the accuracy or completeness of the contents, and shall not be liable for any loss or damage that may be occasioned directly or indirectly through the use of, or reliance on, the contents of this publication, including its translation into other languages than English. This is the translated version from the chapter in English, and does not constitute an official United Nations publication.*

### **Disclaimer:**

*Modul peralatan energi ini dibuat sebagai bagian dari proyek "Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dari Industri di Asia dan Pasifik/ Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific" (GERIAP) oleh Badan Produktivitas Nasional, India. Sementara upaya-upaya masih dilakukan untuk menjamin bahwa isi dari publikasi ini didasarkan fakta-fakta yang benar, UNEP tidak bertanggung-jawab terhadap ketepatan atau kelengkapan dari materi, dan tidak dapat dikenakan sanksi terhadap setiap kehilangan atau kerusakan baik langsung maupun tidak langsung terhadap penggunaan atau kepercayaan pada isi publikasi ini*