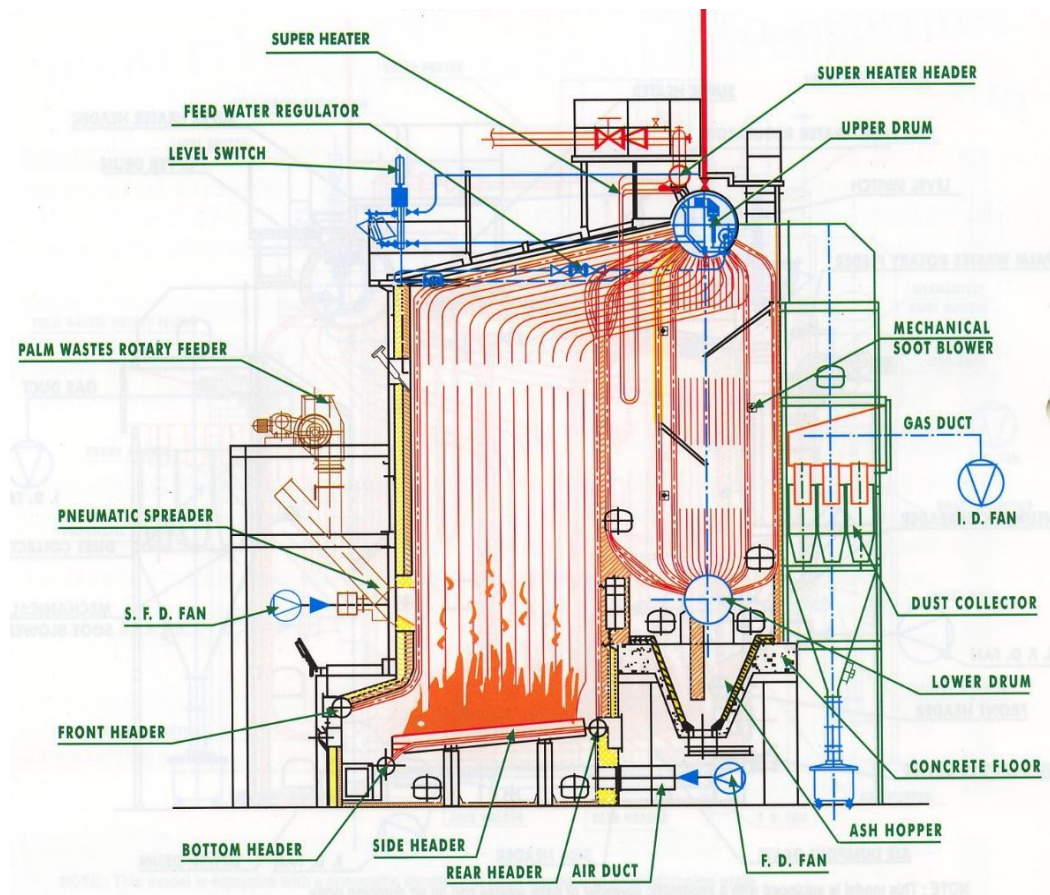


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Ketel Uap

Dalam Undang-undang (stoom ordonnantie) verordening stoom ordonnantie 1930 yang dimaksud dengan pesawat uap ialah ketel uap dan alat-alat lainnya yang dengan peraturan Pemerintah ditetapkan demikian, langsung atau tidak langsung berhubungan (atau tersambung) dengan suatu ketel uap dan diperuntukan bekerja dengan tekanan yang lebih besar (tinggi) daripada tekanan udara.



Gambar 2.1 Bagian-bagian Boiler

Sebuah ketel uap biasanya merupakan bejana tertutup yang terbuat dari baja. Fungsinya adalah memindahkan panas yang dihasilkan pembakaran bahan bakar ke air yang pada akhirnya akan menghasilkan uap. Uap yang dihasilkan bisa

Di manfaatkan untuk:

1. Mesin pembakaran luar seperti: mesin uap dan turbin.
2. Suplai tekanan rendah bagi kerja proses di industri seperti pabrik kelapa sawit, pabrik gula, industri revinery dsb.
3. Menghasilkan air panas, dimana bisa digunakan untuk instalasi pemanas bertekanan rendah.

## 2.2 Bagian-bagian boiler

Secara umum bagian utama dari boiler terdiri dari :

### Main equipment

#### 1. Ruang Bakar (*Furnace*)

Yaitu tempat terjadinya pembakaran ampas dan minyak atau bahan bakar yang lain. Suhu di dalam ruang bakar berkisar  $600^{\circ}\text{C}$  tergantung dari zat kering bahan bakar. Untuk mendapatkan suhu ruang bakar yang tinggi perlu pengaturan dari udara hembus dan umpan bahan bakar. Untuk pembuangan abu masing-masing ketel menggunakan dumping grade, dan langsung di goreng agar tidak mengganggu proses pembakaran.

#### 2. Bagase Feeder

Digunakan sebagai pengumpan ampas agar masuknya ampas ke dalam ruang bakar secara kontinu dan merata. pemasukan ampas menggunakan *rotary valve* dengan mengatur bukaan pintu ampas.

#### 3. Main steam drum

Sebagai tempat masuk air dan sirkulasi air panas karena pembakaran sehingga terbentuk uap.

#### 4. Super heater

Digunakan untuk mengubah uap kenyang menjadi uap kering dengan temperatur  $325^{\circ}\text{C}$  karena uap yang mengandung air akan berbahaya bagi turbin.

Cara kerjanya yaitu uap yang keluar dari *upper drum* ketel dimasukkan ke dalam pipa-pipa yang kemudian masuk ke dalam ruang bakar dan uap berubah menjadi uap kering.

#### 5. Penangkap debu (*Dust collector*)

Fungsinya sebagai penangkap debu sebelum gas asap keluar dari cerobong agar tidak terjadi polusi udara di lingkungan. Ketel pipa air menggunakan penangkap debu yaitu dengan cara dispray dengan air. Gas sisa pembakaran ditarik IDF, sehingga terjadi pusaran di spray dengan air disekelilingnya. Butiran-butiran abu yang halus akan jatuh ke talang bersama air lalu ke penampung abu.

#### 6. Economizer

Ekonomiser adalah piranti yang digunakan untuk memanaskan air umpan dengan memanfaatkan panas dari gas asap sebelum masuk ke cerobong.

#### 7. Oil burner

Sebagai pembakaran tambahan dalam ketel dengan residu.

### **Auxiliary equipment**

#### 1. Force draft fan (FDF)

Berfungsi sebagai penghembus campuran uap bahan bakar dan gas-gas dan udara di dalam ruang bakar.

#### 2. Induce draft fan (IDF)

Berfungsi untuk membuang atau menghisap gas-gas berikut campuran uap bahan bakar dan udara yang terdapat di dalam ruang bakar.

#### 3. Valves, control, dan instrument

Sebagai instrument pengaman serta control terhadap tekanan, temperatur, water level dsb.

### **Balance of boiler**

#### 1. Deaerator

Pemisah gas-gas terlarut dalam air ( $O_2$ ) dan memanaskan air umpan boiler sebelum dibakar di dalam boiler.

## 2. Feed water heater

Sistem pemanasan awal pada air pengisi ketel

## 3. Blowdown system

Blowdown kontinyu yang tidak terkendali sangatlah sia-sia. Pengendalian blowdown otomatis dapat terpasang yang merupakan sensor dan merespon pada konduktivitas air boiler dan pH. Blowdown 10 % dalam boiler 15 Kg/cm<sup>2</sup> menghasilkan kehilangan efisiensi 3%.

### 2.3 Esensi Ketel Uap yang Baik

Berikut ini adalah esensi dari ketel uap yang baik.

1. Harus menghasilkan kuantitas maksimum uap dengan bahan bakar yang diberikan.
2. Harus ekonomis ketika dipasang, dan menghendaki sedikit perhatian ketika beroperasi.
3. Harus secara cepat bisa memenuhi beban yang berfluktuasi.
4. Harus bisa distarter dengan cepat.
5. Beratnya harus ringan.
6. Harus menempati ruang yang kecil.
7. Sambungan harus sesedikit mungkin dan bisa dinspeksi.
8. Lumpur atau endapan lainnya tidak boleh mengumpul pada pelat pemanas.
9. Tube tidak boleh mengakumulasi jelaga atau kotoran air, dan harus mempunyai toleransi ketebalan untuk keausan dan korosi.
10. Rangkaian air dan gas asap harus didesain supaya bisa memberikan kecepatan fluida maksimum tanpa mengakibatkan kerugian gesek yang besar.

### 2.4 Pemilihan Ketel Uap

Pemilihan jenis dan ukuran ketel uap tergantung pada faktor-faktor berikut:

1. Daya yang diperlukan dan tekanan kerja.
2. Posisi geografis dari *power house* (sumber tenaga).

3. Ketersediaan bahan bakar dan air.
4. Kemungkinan stasiun permanen.
5. Faktor beban yang mungkin.

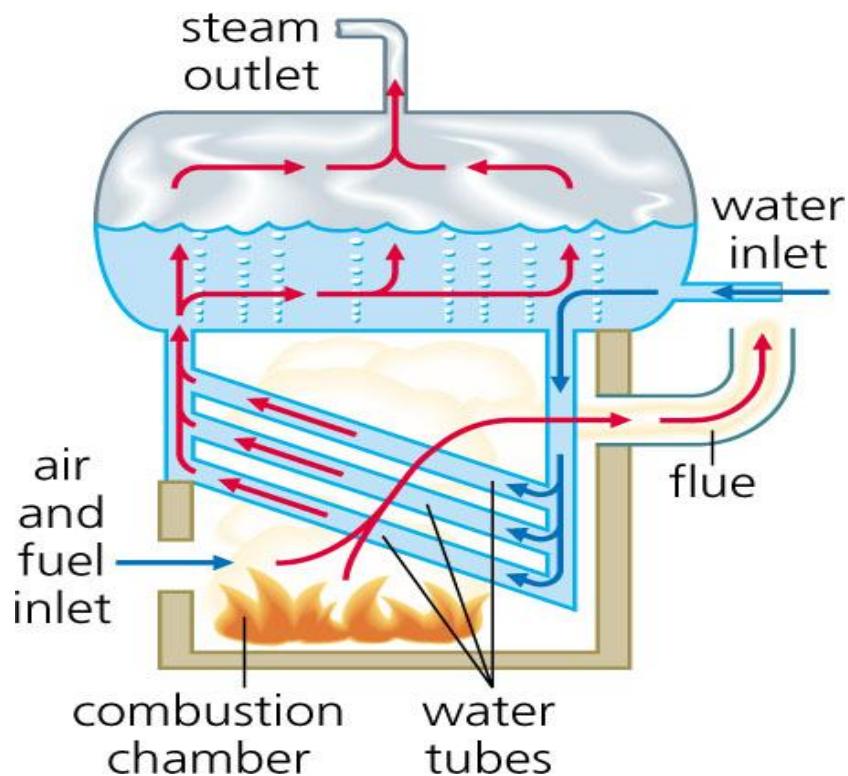
## 2.5 Klasifikasi Ketel Uap

Ada banyak klasifikasi ketel uap, berikut ini diberikan salah satu contoh klasifikasi ketel uap yang akan kami jadikan sebagai acuan.

1. Berdasarkan isi tube/pipa

### Pipa air

Pada ketel pipa air, air dimasukkan ke dalam pipa dimana pipa dikelilingi oleh nyala api dan gas panas dari luar. Contoh ketel jenis ini : ketel Babcock dan Wilcox, ketel Stirling, ketel La-Mont, ketel Benson, ketel Yarrow dan ketel Loeffler.



Gambar 2.2 Water tube boiler

2. Berdasarkan posisi dapur pembakar.

1. Dibakar di dalam
2. Pada ketel uap dibakar di dalam, dapur diletakkan di dalam kulit boiler. Sebagian besar ketel pipa api mempunyai jenis ini.
3. Dibakar di luar
4. Pada ketel uap dibakar di luar, dapur disusun dibawah susunan bata. Ketel pipa air selalu dibakar di luar.

3. Berdasarkan sumbu shell/kulit.

1. Vertikal  
Pada ketel uap vertikal, sumbu shell vertikal.
2. Horizontal  
Sedangkan pada jenis horisontal, sumbu shellnya horisontal.

4. Berdasarkan jumlah pipa.

1. Pipa tunggal
2. Pada ketel uap pipa tunggal, hanya ada satu buah pipa api atau pipa air. Ketel vertical sederhana dan ketel Cornish adalah jenis ketel pipa tunggal.
3. Pipa banyak
4. Pada ketel pipa banyak, ada dua atau lebih pipa api atau pipa air.

5. Berdasarkan metode sirkulasi air dan uap.

1. Sirkulasi alami  
Pada ketel dengan sirkulasi alami, sirkulasi air adalah dengan arus konveksi alami/natural, dimana dihasilkan karena pemanasan air.
2. Sirkulasi paksa  
Pada ketel uap dengan sirkulasi paksa, ada sirkulasi paksa pada air dengan memakai penggerak pompa. Penggunaan sirkulasi paksa dilakukan pada ketel seperti ketel La-Mont, ketel Benson, ketel Loeffler dan ketel Velcon.

## 6. Berdasarkan penggunaannya.

### 1. Stasioner

Ketel uap stasioner digunakan di pusat pembangkit tenaga, dan di industri proses. Ketel ini disebut stasioner karena ketel tidak berpindah dari satu ke tempat lainnya.

### 2. Mobil (bergerak)

Ketel uap mobil adalah ketel yang bergerak dari satu tempat ke tempat lainnya. Ketel jenis ini seperti ketel lokomotif dan ketel marine.

## 7. Berdasarkan sumber panas.

Sumber panas bisa berupa pembakaran bahan bakar padat, cair atau gas, gas sisa panas yang dihasilkan dari proses kimia, energi listrik atau energi nuklir.

## **2.6 Keuntungan dan Kerugian Ketel Pipa Air**

Keuntungan-keuntungan ketel pipa air:

1. Menghasilkan uap dengan tekanan lebih tinggi dari pada ketel pipa api.
2. Untuk daya yang sama, menempati ruang/tempat yang lebih kecil daripada ketel pipa api.
3. Laju aliran uap lebih tinggi.
4. Komponen-komponen yang berbeda bisa diurai sehingga mudah untuk dipindahkan.
5. Permukaan pemanasan lebih efektif karena gas panas mengalir keatas pada arah tegak lurus.
6. Pecah pada pipa air tidak menimbulkan kerusakan ke seluruh ketel.

Kerugian-kerugian ketel pipa air:

1. Air umpan mensaratkan mempunyai kemurnian tinggi untuk mencegah endapan kerak di dalam pipa. Jika terbentuk kerak di dalam pipa bisa menimbulkan panas yang berlebihan dan pecah.

2. Ketel pipa air memerlukan perhatian yang lebih hati-hati bagi penguapannya, karena itu akan menimbulkan biaya operasi yang lebih tinggi.
3. Pembersihan pipa air tidak mudah dilakukan.

## **2.7 Perpindahan Panas pada Boiler**

### **2.7.1 Perpindahan Panas Secara Pancaran (*radiation*)**

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas antara suatu benda ke benda yang lain dengan jalan melalui gelombang-gelombang elektromagnetik tanpa tergantung kepada ada atau tidak adanya media diantara benda yang menerima pancaran panas tersebut. Molekul-molekul api yang merupakan hasil pembakaran bahan bakar dan udara akan menyebabkan terjadinya gangguan keseimbangan elektromagnetis terhadap media yang disebut aether (materi bayangan tanpa bobot yang mengisi ruangan). Sebagian panas yang timbul dari hasil pembakaran tersebut diteruskan ke aether yang kemudian diteruskan kepada bidang yang akan dipanasi yaitu dinding atau pipa ketel.

### **2.7.2 Perpindahan Panas Secara Aliran (*convection*)**

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida (cair maupun gas). Molekul-molekul fluida tersebut dalam gerakannya melayang-layang kesana kemari membawa sejumlah panas masing-masing ( $q$ ) joule. Pada saat molekul fluida tersebut menyentuh dinding atau pipa ketel maka panasnya dibagikan sebagian kepada dinding atau pipa ketel, sedangkan sebagian lagi dibawa molekul pergi.

Gerakan-gerakan molekul yang melayang-layang tersebut disebabkan karena perbedaan temperatur di dalam fluida itu sendiri. Dalam gerakannya, molekul-molekul api tersebut tidak perlu melalui lintasan yang lurus untuk mencapai dinding bidang yang dipanasi.



### **2.7.3 Perpindahan Panas Secara Rambatan (*conduction*)**

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas dari suatu bagian benda padat ke bagian lain dari benda padat yang sama atau dari benda padat yang satu ke benda padat yang lain karena terjadinya persinggungan fisik (kontak fisik atau menempel) tanpa terjadinya perpindahan panas molekul-molekul dari benda padat itu sendiri. Di dalam dinding ketel, panas akan dirambatkan oleh

## **2.8 Proses Pemanasan Air**

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 valve 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 valve 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.

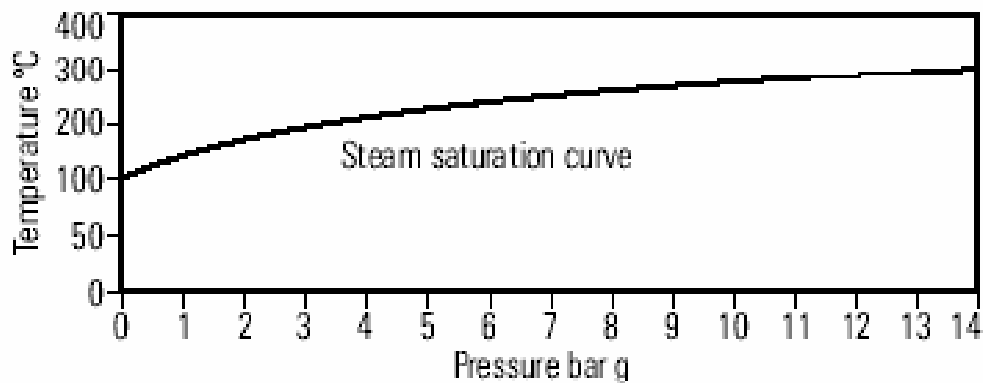
Dua sumber air umpan adalah: kondensat atau steam yang mengembun yang kembali dari proses dan air make up (air baku yang sudah diolah) yang harus diumpankan dari luar ruang boiler dan plant proses. Untuk mendapatkan efisiensi

boiler yang lebih tinggi, digunakan economizer untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang.

molekul-molekul dinding ketel sebelah dalam yang berbatasan dengan api, menuju ke molekul-molekul dinding ketel sebelah luar yang berbatasan dengan air. Perambatan tersebut menempuh jarak terpendek (Djokosetyardjo, 1993)

Dengan mempertimbangkan struktur molekul cairan dan uap, masuk akal bahwa densitas steam lebih kecil dari air, sebab molekul steam terpisah jauh satu dengan yang lainnya. Ruang yang secara tiba-tiba terjadi diatas permukaan air menjadi terisi dengan molekul steam yang padat.

Jika jumlah molekul yang meninggalkan permukaan cairan lebih besar dari yang masuk kembali, maka air menguap dengan bebasnya. Pada titik ini air telah mencapai titik didihnya atau suhu jenuhnya, yang dijenuhkan oleh energi panas. Jika tekananya tetap, penambahan lebih banyak panas tidak mengakibatkan kenaikan suhu lebih lanjut namun menyebabkan air membentuk steam jenuh. Suhu air mendidih dengan steam jenuh dalam sistim ya ng sama adalah sama, akan tetapi energi panas per satuan massa nya lebih besar pada steam. Pada tekanan atmosfer suhu jenuhnya adalah 100°C. Tetapi, jika tekanannya bertambah, maka akan ada penambahan lebih banyak panas yang peningkatan suhu tanpa perubahan fase. Oleh karena itu, kenaikan tekanan secara efektif akan meningkatkan entalpi air dan suhu jenuh. Hubungan antara suhu jenuh dan tekanan dikenal sebagai kurva steam jenuh (Gambar 3.2).



Gambar 2.3 Kurva Steam Jenuh

Air dan steam dapat berada secara bersamaan pada berbagai tekanan pada kurva ini, keduanya akan berada pada suhu jenuh. Steam pada kondisi diatas kurva jenuh dikenal dengan superheated steam/steam lewat jenuh:

1. Suhu diatas suhu jenuh disebut derajat steam lewat jenuh.
2. Air pada kondisi dibawah kurva disebut air sub- jenuh.

Jika steam mengalir dari boiler pada kecepatan yang sama dengan yang dihasilkannya, penambahan panas lebih lanjut akan meningkatkan laju produksinya. Jika steam yang sama tertahan tidak meninggalkan boiler, dan jumlah panas yang masuk dijaga tetap, energi yang mengalir ke boiler akan lebih besar dari pada energi yang mengalir keluar. Energi berlebih ini akan menaikkan tekanan, yang pada gilirannya akan menyebabkan suhu jenuh meningkat, karena suhu steam jenuh berhubungan dengan tekanannya.

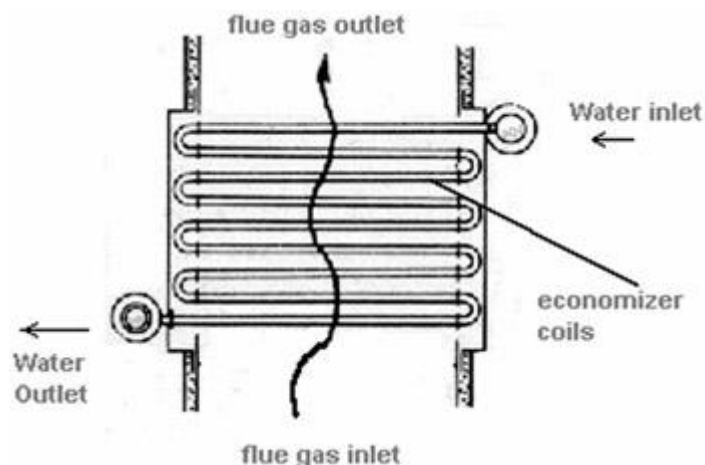
Dalam hal ini pembakaran air di dalam boiler adalah, air yang melalui economizer yang telah melalui pemanasan di dalamnya dialirkan ke drum boiler (penampungan steam) dan kemudian dibakar di dalam boiler untuk dipanaskan lebih lanjut hingga menjadi steam basah. Suhu di dalam boiler ini adalah sekitar  $400^{\circ}\text{C}$ - $459^{\circ}\text{C}$ . Pembakaran menggunakan bahan bakar batu bara dan dibantu dengan udara untuk menjaga kestabilan pembakaran di dalam combustion system.

Sistem pengendalian pembakaran menghubungkan antara pengendalian input panas ke boiler dengan rasio udara/bahan bakar yang masuk ruang pembakaran. Sistem pengendalian ini harus dapat menjamin jumlah udara yang tersedia mencukupi untuk pembakaran sejumlah bahan bakar secara efisien tanpa menimbulkan smoke dan dengan minimum discharge particulate dari cerobong. Setelah proses di dalam boiler ini, aliran steam lalu dilanjutkan ke Superheater untuk menjadi kan steam kering, suhu steam saat itu sekitar  $520^{\circ}\text{C}$ - $600^{\circ}\text{C}$  dan siap untuk memutar turbin.

## **2.9 Keterpasangan Peralatan Pada Economizer**

Economizer adalah jenis penukar kalor antara Gas dan Cairan , dimana dengan system ini Kalor dari Gas asap Boiler dimanfaatkan sebagai pemanas air

untuk proses produksi ataupun sebagai umpan Air ke Boiler . Secara umum Boiler akan mengalami peningkatan efisiensi sekitar 1 % untuk setiap penurunan temperature 20 °C dari Gas Asap. Ekonomizer merupakan komponen yang digunakan untuk memanaskan feedwater dengan memanfaatkan panas dari gas asap sebelum masuk ke cerobong. Prinsip kerjanya sama seperti halnya dengan heat exchanger. Ekonomizer akan meningkatkan nilai ekonomis ketel uap. Jenis ekonomizer yang populer adalah ekonomizer “Greens” yang banyak digunakan pada ketel stasioner. Ekonomizer ini terdiri dari sejumlah besar pipa vertikal yang ditempatkan sebagai penambahan gas asap antara ketel dengan cerobong.



Gambar 2.4 Skematik Ekonomizer

Kinerja ekonomizer ditentukan oleh fluida yang mempunyai koefisien perpindahan panas yang rendah yaitu gas. Kecepatan perpindahan panas dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan koefisien perpindahan panas total dengan cara mengatur susunan tubing/properti fin dan meningkatkan luas kontak perpindahan panas. Respon yang dihasilkan oleh ekonomizer adalah efektifitas perpindahan panas dan biaya operasi.

Efektifitas perpindahan panas adalah besarnya energi yang dapat diambil dari total jumlah energi yang dapat diserap. Semakin besar efisiensi perpindahan panas pada ekonomizer, maka panas gas sisa yang diambil akan semakin banyak.

Semakin besar efektivitas perpindahan panas yang terjadi, maka alat tersebut semakin efisien.

Biaya operasi economizer ditentukan oleh tenaga fan dan tenaga pompa. Fan digunakan untuk mengalirkan udara pembakaran ke boiler melalui economizer. Semakin banyak loop dan semakin rumit susunan tubing pada economizer maka tenaga fan yang dibutuhkan semakin besar. Pompa digunakan untuk mengalirkan air umpan boiler ke steam drum melalui economizer. Semakin panjang dan semakin banyak loop pada economizer, maka tenaga pompa yang dibutuhkan semakin besar.

Respon yang optimum diperoleh menggunakan perancangan faktor yang mempengaruhi kinerja economizer sebagai berikut:

1. diameter luar tubing, yaitu besarnya diameter tube yang digunakan dalam menyusun economizer. Semakin besar diameter tube akan mengakibatkan efektifitas perpindahan panas semakin berkurang.
2. transversal spacing, yaitu menyatakan jarak antar tube sejajar ke arah lebar economizer. Semakin lebar jarak antar tube mengakibatkan proses induksi panas dalam economizer semakin berkurang, sehingga efektifitas perpindahan panas menurun.
3. kerapatan fin, yaitu banyaknya fin tiap inci yang dapat disusun untuk menggabungkan beberapa tube dalam economizer. Semakin banyak fin yang tersusun akan mengakibatkan perpindahan panas tidak efektif karena jarak antar tube yang semakin jauh

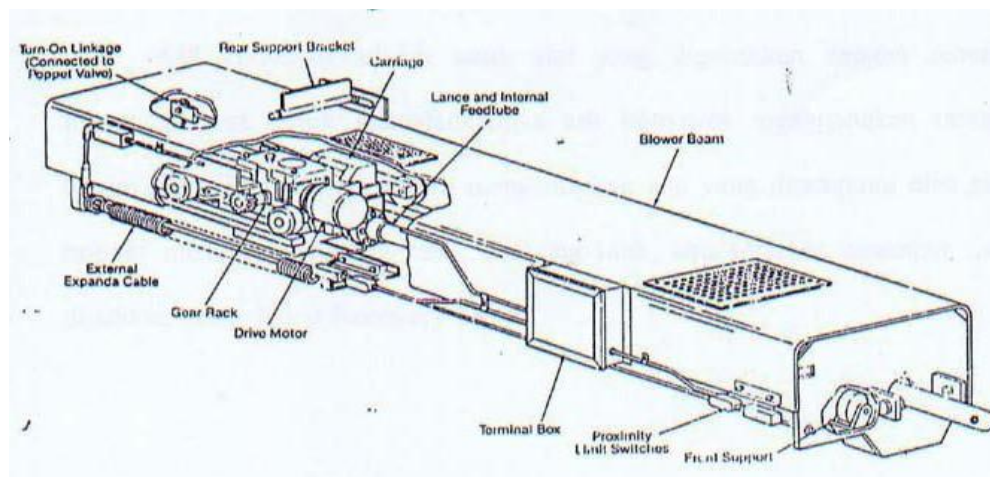
Konstruksi economizer adalah berdasarkan tipenya, ada tipe economizer yang tidak menyatu dengan boiler, dan ada juga economizer yang menyatu dengan boiler. Perbedaan keduanya hanyalah pada peletakkan tempat pada penyusunan komponen dalam suatu pabrik. Pada economizer yang dihubungkan langsung dengan boiler, dan terpasang langsung saat dikeluarkan dari pabrikannya.

Dalam hal ini, spesifikasi alatnya bukan lah dari type economizer melainkan type dari boiler itu sendiri yaitu boiler recovery atau bisa juga disebut boiler economizer.

Adapun bagian-bagian dari economizer adalah sebagai berikut:

### 1. Soot blower

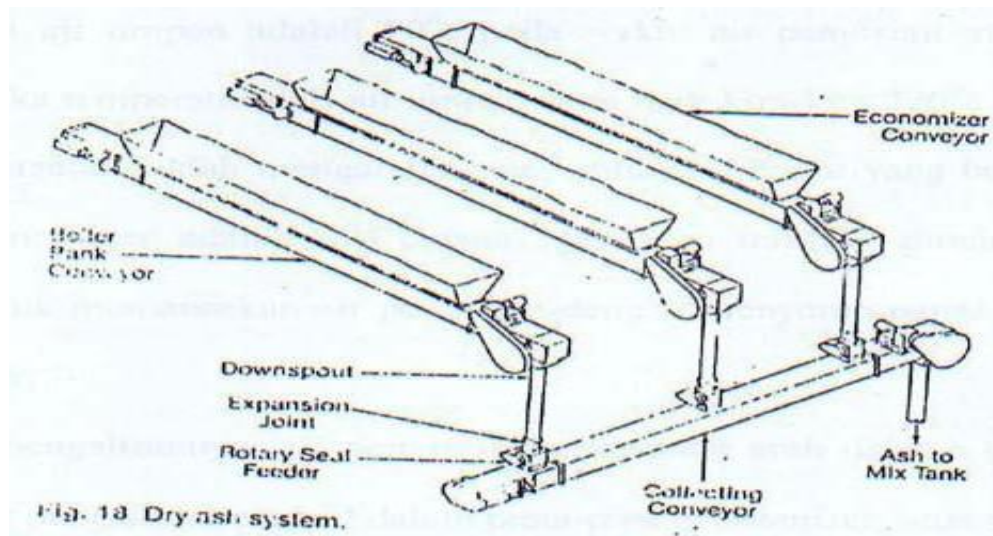
Soot blower yang terlihat pada gambar berikut ini adalah suatu peralatan mekanis yang digunakan untuk pembersihan bagian ketel seperti pada economizer dari endapan-endapan abu (*ash*) yang lengket pada pipa-pipa economizer. Soot blower mengarahkan alat pembersih melalui mulut pipa (*nozzle*) pada abu yang lengket pada pipa-pipa economizer. Soot blower juga mencegah penyumbatan gas asap yang lewat.



Gambar 2.5 Soot blower

### 2. Ash handling

Dalam membantu dan menjaga agar economizer tetap dalam kondisi baik, maka economizer dilengkapi dengan alat pembantu seperti ash handling seperti gambar 3.4 berikut, yang berfungsi untuk menangkap abu yang telah dibersihkan oleh soot blower.



Gambar 2.6 Ash Handling System

*Economizer* adalah alat pemindah panas berbentuk *tubular* yang digunakan untuk memanaskan air umpan *boiler* sebelum masuk ke *steam drum*. Istilah *economizer* diambil dari kegunaan alat tersebut, yaitu untuk menghemat (*to economize*) penggunaan bahan bakar dengan mengambil panas (*recovery*) gas buang sebelum dibuang ke atmosfer.

Biro Efisiensi Energi (2004) menyatakan bahwa sebuah *economizer* dapat dipakai untuk memanfaatkan panas gas buang untuk pemanasan awal air umpan *boiler*. Setiap penurunan  $220^{\circ}\text{C}$  suhu gas buang melalui *economizer* atau pemanas awal terdapat 1% penghematan bahan bakar dalam *boiler*. Setiap kenaikan  $60^{\circ}\text{C}$  suhu air umpan melalui *economizer* atau kenaikan  $200^{\circ}\text{C}$  suhu udara pembakaran melalui pemanas awal udara, terdapat 1% penghematan bahan bakar dalam *boiler*. Kinerja *economizer* ditentukan oleh fluida yang mempunyai koefisien perpindahan panas yang rendah yaitu gas.

Kecepatan perpindahan panas dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan koefisien perpindahan panas total dengan cara mengatur susunan *tubing*/properti *fin* dan meningkatkan luas kontak perpindahan panas. Respon yang dihasilkan oleh *economizer* adalah efektifitas perpindahan panas dan biaya operasi.

Efektifitas perpindahan panas adalah besarnya energi yang dapat diambil dari total jumlah energi yang dapat diserap. Semakin besar efisiensi perpindahan panas pada *economizer*, maka panas gas sisa yang diambil akan semakin banyak. Semakin besar efektivitas perpindahan panas yang terjadi, maka alat tersebut semakin efisien.

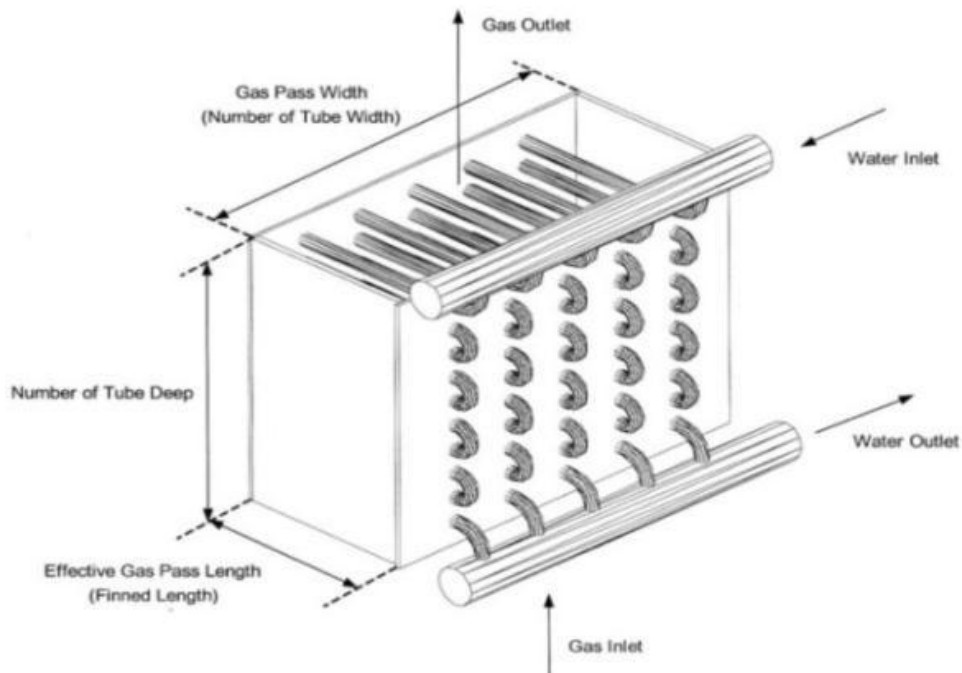
Biaya operasi *economizer* ditentukan oleh tenaga *fan* dan tenaga pompa. *Fan* digunakan untuk mengalirkan udara pembakaran ke *boiler* melalui *economizer*. Semakin banyak *loop* dan semakin rumit susunan *tubing* pada *economizer* maka tenaga *fan* yang dibutuhkan semakin besar.

Pompa digunakan untuk mengalirkan air umpan *boiler* ke *steam drum* melalui *economizer*. Semakin panjang dan semakin banyak *loop* pada *economizer*, maka tenaga pompa yang dibutuhkan semakin besar.

Respon yang optimum diperoleh menggunakan perancangan faktor yang mempengaruhi kinerja *economizer* sebagai berikut:

1. Diameter luar *tubing*, yaitu besarnya diameter *tube* yang digunakan dalam menyusun *economizer*. Semakin besar diameter *tube* akan mengakibatkan efektifitas perpindahan panas semakin berkurang.
2. *b.Transversal spacing*, yaitu menyatakan jarak antar *tube* sejajar ke arah lebar *economizer*. Semakin lebar jarak antar *tube* mengakibatkan proses induksi panas dalam *economizer* semakin berkurang, sehingga efektifitas perpindahan panas menurun.
3. Kerapatan *fin*, yaitu banyaknya *fin* tiap inci yang dapat disusun untuk menggabungkan beberapa *tube* dalam *economizer*. Semakin banyak *fin* yang tersusun akan mengakibatkan perpindahan panas tidak efektif karena jarak antar *tube* yang semakin jauh.





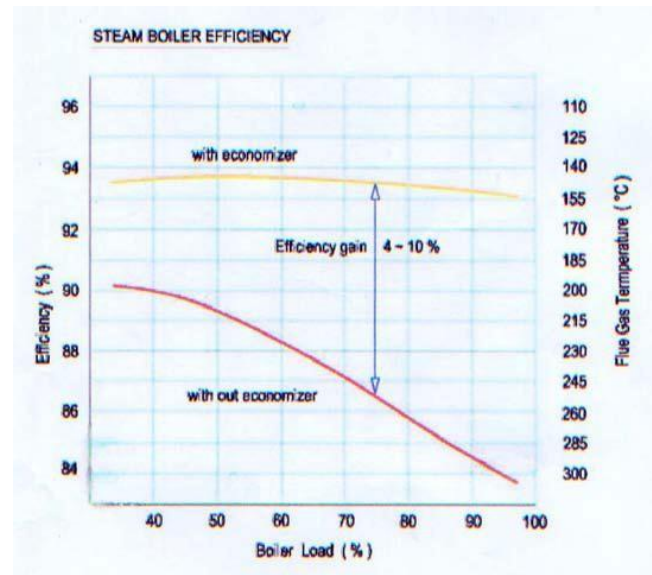
Gambar 2.7 Penampang Economizer

Berikut ini adalah keuntungan-keuntungan menggunakan ekonomiser:

1. Ada penghematan batubara 15 sampai 20%.
2. Meningkatkan kapasitas menghasilkan uap karena memperpendek waktu yang diperlukan untuk merubah air ke uap.
3. Mencegah pembentukan kerak di dalam pipa air ketel, sebab kerak sekarang mengendap di pipa ekonomiser yang bisa dengan mudah dibersihkan.
4. Karena air umpan memasuki ketel panas, sehingga regangan karena ekspansi yang tidak sama bisa diminimasi.

Dari pembahasan diatas terlihat jelas bahwa pemanasan awal air sangat berguna untuk penghematan bahan bakar. Begitu juga dengan economizer, walau hanya perangkat tambahan, kegunaan alat ini bisa meng-efisiensikan proses kerja boiler. Dimana kita ketahui pembakaran air di dalam economizer ini hanya memanfaatkan gas buang dari hasil pembakaran di dalam boiler dengan tidak menambah bahan bakar untuk memanaskan air di dalamnya. Memang tidak hanya

economizer saja yang merupakan heater pendukung, melainkan banyak heater-heater yang lain yang bisa juga digunakan di dalam suatu sistem industri yang membuat air menjadi steam.



Gambar 2.8 Grafik penggunaan economizer

Grafik diatas menunjukkan keuntungan dan kerugian menggunakan economizer sebagai pemanasan awal. Jelas terlihat tanpa menggunakan economizer maka efisiensi kerja boiler menurun, dalam artian tanpa pemanasan yang dibantu oleh economizer.

Boiler harus bekerja lebih lama dalam pembuatan steam dan selain itu boiler akan memerlukan bahan bakar yang lebih banyak untuk mencapai panas suhu steam yang telah ditentukan. Selain itu juga, apabila boiler tetap dipaksakan bekerja lebih maka akan lebih cepat merusak pipa-pipa di dalam boiler itu sendiri. Apabila telah terjadi seperti ini maka suatu pabrik akan mengalami kerugian yang sangat besar dalam operasional boiler karena pemakaian bahan bakar yang terlalu banyak dan ketahanan suatu alat akan cepat menurun dan harus mengganti peralatan tersebut.

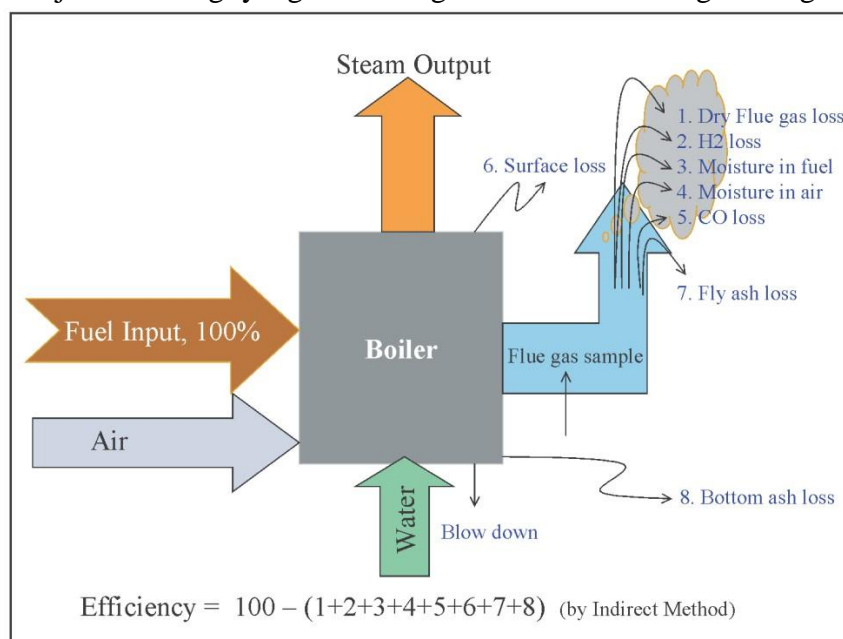
Namun apabila suatu boiler menggunakan economizer dan beberapa heater pemanas pembantu lainnya di dalam proses pemanasan air sebelum dibakar, maka akan lebih meningkatkan efisiensi dari kerja boiler itu sendiri, karena suhu air

sebelum dibakar di dalam boiler sudah cukup tinggi, berarti pemanasan air menjadi steam di dalam boiler tidak memakan waktu lama dan tidak menggunakan bahan bakar yang banyak untuk mencapai standar suhu yang telah ditentukan, maka biaya operasional dapat lebih di efisienkan dan secara tidak langsung dapat menguntungkan bagi pabrik.

Selain itu maintenance atau perawatan dari peralatan atau pergantian peralatan dapat dilaksanakan lebih lama. Jelas terlihat bahwa dengan menggunakan boiler economizer dapat meningkatkan kapasitas boiler dan juga dapat mengefisienkan pembakaran air menjadi steam di dalam boiler hingga penghematan bahan bakar yang cukup jauh perbedaannya jika boiler tanpa economizer.

## 2.10 Analisa Performansi Boiler

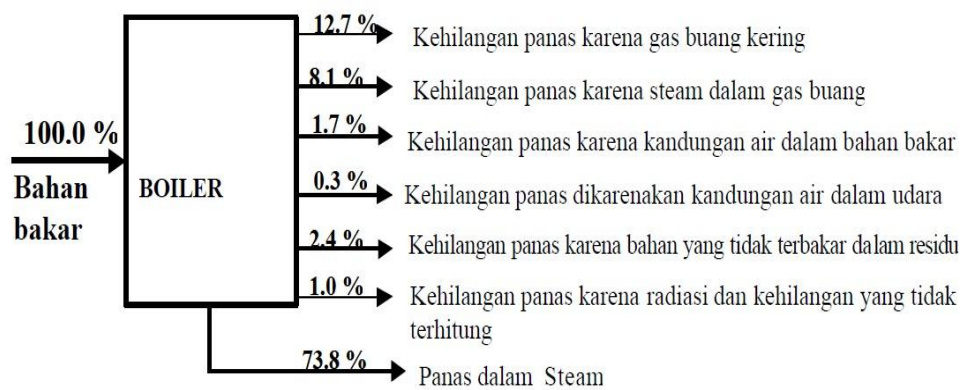
Proses pembakaran dalam boiler dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir energi. Diagram ini menggambarkan secara grafis tentang bagaimana energi masuk dari bahan bakar diubah menjadi aliran energi dengan berbagai kegunaan dan menjadi aliran kehilangan panas dan energi. Panah tebal menunjukkan jumlah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



Gambar 2.9 Neraca panas energi boiler (Buerau of energy efficiency)

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*.

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 2.10 Diagram kehilangan energi pada boiler (UNEP, 2004)

Kehilangan berikut dapat dihindari atau dikurangi :

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

