

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan suatu faktor penunjang yang sangat penting dalam menjalankan suatu pabrik. Kebutuhan akan energi listrik yang besar ini mengharuskan perusahaan untuk menghasilkan listriknya sendiri.

Pesawat ketel (boiler) merupakan alat yang dapat mengubah fase air menjadi fase uap dengan memanfaatkan energi kimia yang terkandung pada bahan bakar yang kemudian dikonversikan menjadi energi panas.

Dalam pengoperasian sebuah pembangkit biaya yang paling besar adalah konsumsi bahan bakar, maka pembangkit akan berupaya untuk tidak membuang energi yang sudah dihasilkan secara sia-sia, dan salah satu cara yang dilakukan adalah dengan meregenarisasi atau memperbaharui energi yang tidak terpakai menjadi sumber energi yang akan digunakan untuk menggerakkan sistem seperti yang terjadi di air heater. Air heater merupakan alat bantu boiler yang berfungsi sebagai penukar panas fluida.

Akan tetapi seiring berjalannya waktu pemakaian komponen ini akan mengalami penurunan efisiensi tentunya seiring dengan berjalannya waktu yang diakibatkan karena *lifetime* dari mesin, pengaruh pengoperasian, dan pemeliharaan air heater tersebut serta pengaruh banyaknya kebocoran (*leakage*) pada *air heater*.

Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi pada boiler dengan menambahkan suatu alat Pemanas Udara (*air heater*) pada saluran pembuangan gas buang (flue gas) boiler. Pemanas udara (*air heater*) ini merupakan alat yang

memanaskan udara sebelum masuk ke ruang bakar. Udara sebelum masuk ke ruang bakar temperaturnya adalah temperatur lingkungan. Supaya proses pembakaran itu lebih cepat maka udara yang dibutuhkan itu terlebih dahulu dipanaskan di pemanas udara (*air heater*) sehingga bahan bakar yang dibutuhkan untuk pembakaran itu jadi berkurang.

Dengan memanaskan udara di pemanas udara (*air heater*) terlebih dahulu sebelum memasuki ruang bakar maka nantinya pembakaran akan berlangsung lebih cepat sehingga bahan bakar yang dibutuhkan untuk pembakaran itu jadi berkurang. Dengan adanya alat pemanas udara (*air heater*) ini pada boiler akan memberi penghematan pemakaian bahan bakar sehingga meningkatkan efisiensi boiler.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian tentang analisa peningkatan efisiensi boiler terhadap peningkatan pemakaian air heater adalah:

1. Untuk mengetahui besar panas yang diserap oleh air heater
2. Untuk mengetahui peningkatan efisiensi pada boiler dengan adanya alat pemanas udara (*air heater*)
3. Untuk mengetahui besar panas yang diserap pada komponen boiler seperti superheater dan economizer.

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Sistem Pembangkit Tenaga Uap

2. Prinsip kerja pemanas udara (*air heater*)
3. Temperatur gas buang (*flue gas*) masuk dan keluar pemanas air dan pemanas udara (*air heater*)
4. Temperatur udara pada air heater yang masuk  $28^{\circ}\text{C}$  dan keluar pemanas udara  $107^{\circ}\text{C}$

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjadi bahan acuan tentang pemanfaatan gas buang (*flue gas*) pada komponen-komponen boiler pada sistem pembangkit yang lain.
2. Untuk mengetahui nilai peningkatan efisiensi dengan adanya air heater.
3. Untuk mengetahui nilai kalor bahan bakar yang digunakan pada Multifuel boiler

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Boiler**

##### **2.1.1 Pengertian Boiler**

Menurut Djokosetyardjo (2003), boiler atau ketel uap 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. Secara proses konversi energi, boiler memiliki fungsi untuk mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang tertransfer ke fluida kerja.

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 ke proses.
2. Air make up (air baku yang sudah diolah) yang harus diumpankan dari luar ruang boiler ke plant proses.

### **2.1.2 Prinsip Kerja Boiler**

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dipindahkan ke air sampai terbentuk uap. Uap 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. Sistem boiler terdiri dari : sistem air umpan, sistem uap dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai valve disediakan untuk keperluan perawatan dan mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler.

Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan uap 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 uap disebut air umpan. Dua sumber air umpan adalah: kondensat atau steam yang mengembun yang kembali dari proses dan make uap water (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. Bahan baku yang digunakan untuk membuat steam adalah air bersih. Air yang telah diproses di alirkan menggunakan pompa ke deaerator tank hingga pada level yang sudah ditentukan. Pemanasan dalam deaerator adalah dengan menggunakan uap sisa yang berasal dari hasil pemutaran turbin. Dalam hal ini terdapat beberapa tahap sirkulasi steam untuk pemanasan awal deaerator.

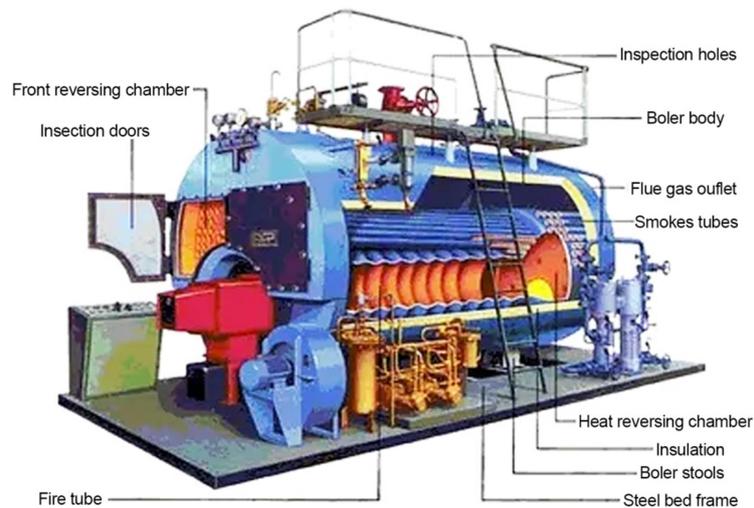
### 2.1.3 Klasifikasi Boiler

Berbagai bentuk boiler telah berkembang mengikuti kemajuan teknologi dan evaluasi dari bentuk–bentuk boiler sebelumnya yang dipengaruhi oleh gas buang boiler yang mempengaruhi lingkungan dan produk steam seperti apa yang dihasilkan. Berikut ini beberapa macam klasifikasi boiler :

#### 1. Berdasarkan Isi Tube/Pipa

##### a. Boiler pipa api atau pipa asap (*fire tube boiler*)

Pada ketel pipa api, nyala api dan gas panas yang dihasilkan melalui dinding pipa dari gas panas ke air di sekeliling pipa tersebut. Boiler jenis pipa api adalah ketel vertikal sederhana, ketel cochran, ketel lanchashire, ketel cornish, ketel scotch marine, ketel lokomotif, dan ketel velcon.



Gambar 2.1 Boiler Pipa Api

Boiler pipa api biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relative kecil dan tekanan steam yang rendah atau sedang. sebagai pedoman ketel pipa api kompetitif untuk kecepatan steam 12.000 kg/jam dengan tekanan sampai  $18 \text{ kg/cm}^2$ . boiler pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya. untuk alasan ekonomis sebagian besar boiler pipa api di konstruksi sebagai paket boiler dirakit oleh pabrik untuk semua bahan bakar.

b. Boiler pipa air (*water tube boiler*)

Pada boiler pipa air, air dimasukkan ke dalam pipa dimana pipa di kelilingi oleh nyala api dan gas panas dari luar. Ketel jenis ini ketel Babcock, ketel Benson, ketel Yarrow dan ketel Loeffler.

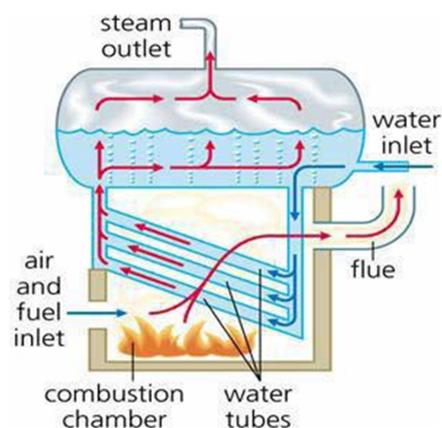
Adapun keuntungan pemakaian boiler pipa air ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan uap dengan tekanan lebih tinggi daripada ketel pipa api.
2. Untuk daya yang sama, menepati 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 di pindahkan.
5. Permukaan pemanasan lebih efektif karena gas panas mengalir keatas pada arah tegak lurus.
6. Pecah pada pipa air tidak menimbulkan kerusakan keseluruh ketel.

Kerugian- kerugian ketel pipa air adalah sebagai berikut:

1. Air umpan mensyaratkan mempunyai kemurnian tinggi untuk mencegah endapan kerak didalam pipa. Jika terbentuk kerak didalam 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



Gambar 2.2 Boiler Pipa Air

## 2. Berdasarkan Pemakaiannya

- a. Boiler stasioner (station boiler) atau ketel tetap

Merupakan boiler yang didudukkan diatas fondasi yang tetap seperti ketel

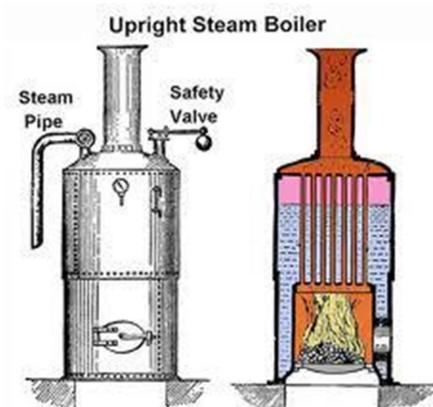
untuk pembangkit tenaga ,untuk industri dan lain sebagainya.

- b. Boiler Pindah atau Portable Boiler Merupakan boiler yang dipasang fondasi yang berpindah-pindah (mobil) seperti boiler lokomotif, lokomobil, dan ketel panjang serta yang lain sebagainya termasuk ketel kapal (marine boiler)

### 3. Berdasarkan Letak Poros Tutup Drum (Sheel)

- a. Boiler Tegak

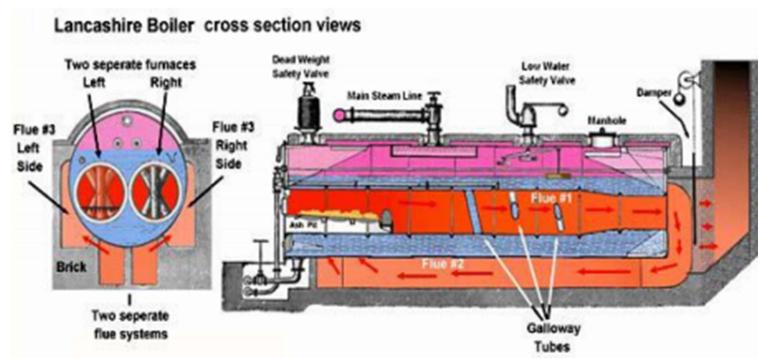
Boiler tegak seperti tampak pada gambar 2.3 adapun contoh ketel tegak adalah boiler cocharn,boiler clarkson, dan lain-lainnya.



Gambar 2.3 Boiler Tegak

- b. Boiler Mendatar (Horizontal steam boiler)

Adapun yang termasuk jenis boiler ini adalah boiler cornish, lancashire, scotch dan lain lain.



Gambar 2.4 Boiler Mendatar

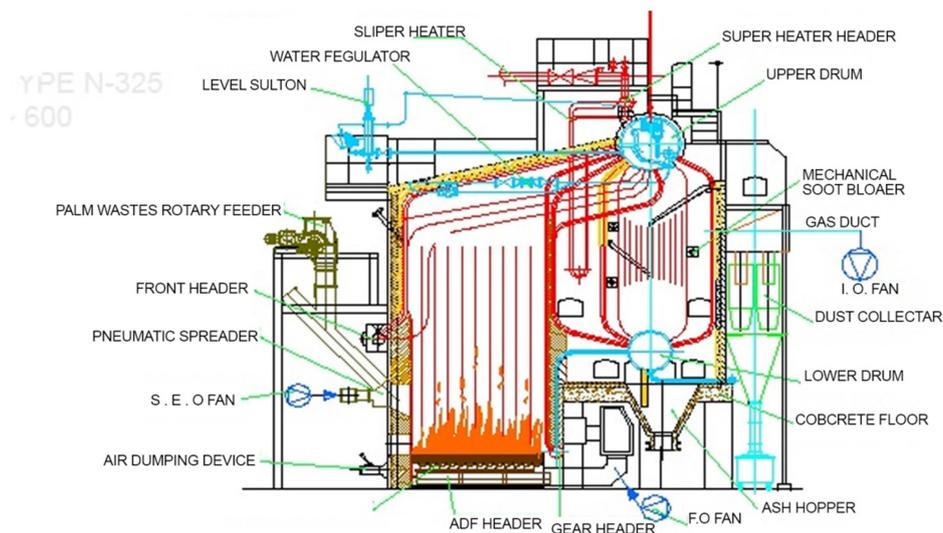
4. Berdasarkan Bentuk dan Letak Pipa
  - a. Boiler dengan pipa lurus, bengkok, dan terlekak lekuk (*straight, bent and sinous tubuler heating surface*)
  - b. Boiler dengan pipa miring datar dan miring tegak (*horizontal, inclined or vertical turbuler heating surface*)
5. Berdasarkan Tekanan Kerjanya
  - a. Boiler Peredaran Alami (*natural sirculation steam boiler*)
 

Merupakan boiler dengan peredaran air didalam boiler terjadi secara alami yaitu air yang ringan naik, sedangkan air yang berat turun, sehingga terjadi aliran konveksi alami. umunya boiler bekerja secara aliran alami, seperti boiler lancashire, babcock dan wilcox, dan lain –lain.
  - b. Boiler Peredaran Paksa
 

Merupakan boiler dengan aliran paksa ,aliran paksa di peroleh dari pompa sentrifugal yang digerakkan secara electric motor, misalnya sistem aliran paksa pada boiler bertekanan tinggi misalnay La-mont boiler, Benson boiler, Loeffler boiler dan Velcan boiler.

### 2.1.4 Komponen-Komponen Boiler

Komponen sistem boiler terdiri dari komponen utama dan komponen bantu yang masing-masing memiliki fungsi untuk menyokong prinsip kerja ketel uap.



Gambar 2.5 Bagian-bagian Boiler

Komponen utama ketel uap terdiri dari :

#### 1. Pembakar (burner)

Pembakar (burner) adalah alat yang digunakan untuk mencampur bahan bakar dan udara. Dan sebagai nozel untuk mendorong campuran bahan bakar kedalam furnace.



Gambar 2.6 Burner

## 2. Pipa Evaporator

Pipa evaporator merupakan pipa – pipa yang berfungsi sebagai pipa penguapan yaitu merubah air menjadi uap, pipa evaporator terletak disepanjang dinding ketel mengelilingi alat pembakar (Furnace).

## 3. Ruang bakar

Ruang bakar (furnace) adalah dapur penerima panas bahan bakar untuk pembakaran, yang terdapat fire gate dibagian bawah sebagai alas bahan bakar dan yang sekelilingnya adalah pipa-pipa air ketel yang menempel pada dinding ruang pembakaran yang menerima panas dari bahan bakar secara radiasi, konveksi, konduksi.



Gambar 2.7 Ruang Bakar

## 4. Drum

Drum merupakan tempat menampung air dari economizer sekaligus sebagai pemisah uap dan air. Pada konstruksi sebuah boiler terdapat 2 buah drum yakni drum uap dan drum lumpur. Drum uap berfungsi untuk menampung uap hasil dari sirkulasi. Drum lumpur merupakan drum yang posisinya di bawah drum uap dan berfungsi sebagai pengumpul air panas yang akan didistribusikan ke dalam wall tube.



Gambar 2.8 Steam Drum

#### 5. Pemanas lanjut (superheater)

Pemanas lanjut (superheater) peralatan yang berfungsi untuk menaikkan temperatur uap jenuh sampai menjadi uap panas lanjut sesuai dengan kebutuhan untuk menggerakkan turbin karena uap yang terbentuk dari pemanasan didalam pipa-pipa diruang bakar berada dalam wujud jenuh atau basah. jika uap yang demikian diekspansi ke turbin akan menimbulkan penimbunan yang cepat. superheater dibedakan atas dua jenis yaitu:

##### a. Low Temperature superheater (LTS)

Uap jenuh jenuh dari steam drum dialirkan ke primary superheater atau temperature superheater. low temperature superheater menghasilkan uap dengan temperature  $391,5^{\circ}\text{C}$ . Uap yang keluar dari LTS kemudian dialirkan High Temperature superheater untuk dipanaskan kembali menjadi uap panas lanjut. Uap dari LTS juga digunakan untuk steam atomizing yang membantu proses pengebutan bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar sempurna. Besar energi panas yang diserap oleh Low temperature superheater (LTS) untuk mengubah air menjadi uap dapat di hitung dengan persamaan di bawah ini.

$$Q_{LTS} = m_s \times (h_{out} - h_{in}) \frac{kJ}{jam} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$Q_{LTS}$  = Panas yang diserap oleh low temperature superheater (kJ/jam)

$m_s$  = kapasitas aliran uap (kg/jam)

$H_{out}$  = entalpi keluar LTS (kJ/kg)

$H_{in}$  = entalpi masuk LTS (Kj/kg)

b. High Temperature Superheater (HTS)

Uap hasil pemanasan LTS selanjutnya mengalir ke High Temperature Superheater (HTS) seperti pada gambar 2.9 yang terletak pada bagian gas sangat panas. Sebagian dari HTS terletak tepat diatas ruang bakar, oleh karena itu transfer panas yang diperoleh oleh HTS adalah secara radiasi dan konveksi. Kemudian uap panas yang diperoleh dari HTS mengalir ke turbin. Besar panas yang diserap oleh High Temperature Superheater untuk menghasilkan uap dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Q_{HTS} = m_s \times (h_{out} - h_{in}) \frac{kJ}{jam} \dots\dots\dots(2.2)$$

$Q_{HTS}$  : Panas yang diserap oleh high temperature Superheater (kJ/jam)

$m_s$  : Kapasitas aliran uap (kg/jam) hout

$h_{out}$  : Entalpi keluar HTS (kJ/kg)

$h_{in}$  : Entalpi masuk HTS (kJ/kg)

c. Economizer

Economizer seperti tampak pada gambar 2.10 merupakan salah satu peralatan yang meningkatkan efisiensi Boiler karena memanfaatkan kalor yang terkandung dalam flue gas sebelum terbuang ke atmosfer melalui

stack. Dengan adanya ekonomizer maka unit PLTU telah menghemat konsumsi bahan bakar. Economizer terdiri dari pipa-pipa air yang ditempatkan pada lintasan gas asap sebelum meninggalkan Boiler. Transfer panas yang terjadi pada economizer adalah secara konveksi. Besar panas yang diserap oleh economizer ini dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_{eco} = ws \times C_{p_{air}} (T_{out} - T_{in}) \text{ KJ/jam} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

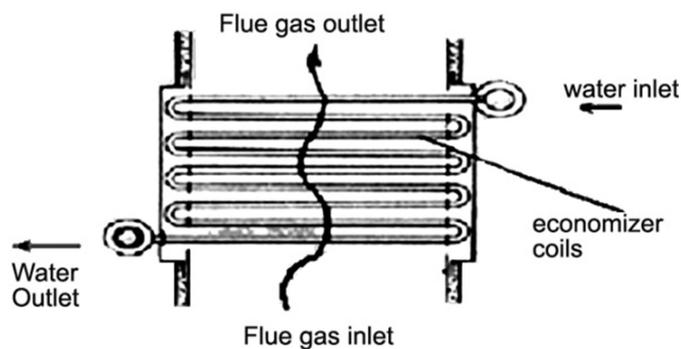
$Q_{eco}$  = Panas yang diserap oleh economizer (kJ/jam)

$ws$  = Kapasitas aliran uap (kg/jam)

$C_{p_{air}}$  = Panas jenis air (kJ/Kg<sup>o</sup>C)

$T_{out}$  = Temperatur keluar economizer (°C)

$T_{in}$  = Temperatur masuk economizer (°C)



Gambar 2.9 economizer

Apabila temperatur flue gas melalui economizer terlalu tinggi maka dapat terjadi overheat pada pipa – pipa economizer yang mengakibatkan pipa economizer pecah. Dan apabila temperatur flue gas melalui economizer terlalu rendah maka dapat terjadi slagging yang mengakibatkan pipa

economizer bocor akibat diferensial temperatur. Kerusakan pipa economizer pada bagian dalam pipa (sisi air) dapat dihindarkan dengan jalan melunakkan air pengisi terlebih dahulu, dan kerusakan pipa economizer pada bagian luar pipa (sisi gas asap) diatasi dengan mempertahankan temperatur flue gas diatas titik embun gas sulfur dan melakukan soot blowing secara berkala.

Besar panas yang diserap oleh economizer ini akan dapat di hitung dengan persamaan berikut:

$$Q_{eco} = ws \times Cp_{air} (T_{out} - T_{in}) \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

$Q_{eco}$  = panas yang diserap oleh economizer (kj/jam)

$ws$  = kapasitas aliran uap (kj/jam)

$Cp_{air}$  = panas jenis air (kj/kg°C)

$T_{out}$  = Temperatur keluar economizer °C

$T_{in}$  = Temperatur masuk economizer °C

## 2.2 Perpindahan Panas

Panas atau alih bahan (heat transfer) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara dua material atau fluida yang berbeda. Karena sifat dasar panas adalah energi panas akan berpindah tempat yang mempunyai temperatur tinggi menuju ke temperatur yang rendah. Kuantitas atau jumlah perpindahan panasnya berbanding lurus dengan perbedaan temperatur.

Ada tiga macam perpindahan panas yang mendasar yaitu :

1. Perpindahan secara konveksi

Secara konveksi (mengalir) adalah cara perpindahan panas, dimana panas ikut berpindah bersama dengan fluida (udara, air) yang membawanya. Panas akan mengalir secara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan, panas yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu partikel- partikel fluida ini, kemudian partikel fluida tersebut akan bergerak ke suhu yang lebih rendah dimana fluida akan bercampur dengan partikel-partikel fluida lainnya. Perpindahan panas secara konveksi dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

- a. Konveksi alami, panas mengalir secara alami, misalnya karena perbedaan kepadatan (densitas). Bejana yang berisi (fluida), apabila bagian bawahnya dipanaskan maka fluida yang berkurang kepadatannya bergerak naik dan fluida yang lebih tinggi kepadatannya akan bergerak turun.
- b. Konveksi paksa, panas mengalir karena paksaan, seperti pompa, blower, radiator dll.

2. Perpindahan panas secara konduksi

Secara konduksi (merambat) adalah cara perpindahan panas dari benda yang memiliki temperatur tinggi menuju temperatur yang rendah, tanpa tergantung dari gerakan benda tersebut. Pada umumnya terjadi pada benda padat.

3. Perpindahan panas secara radiasi

Secara radiasi (memancar) ialah perpindahan panas tanpa perantara, dimana panas mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah bila benda tersebut terpisah didalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa diantara

benda-benda tersebut, maka panas yang dimiliki berubah menjadi gelombang elektromagnetik.

### **2.3 Bahan Bakar**

Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem steam, dan sistem bahan bakar. Pada bagian ini, yang akan dibahas lebih lanjut adalah sistem bahan bakar. Bahan bakar (fuel) adalah segala bahan yang dapat dibakar (Ir.Syamsir A : 146). Bahan bakar dibakar untuk menghasilkan panas (kalor).

Bahan bakar hanya dapat terbakar bila sudah cukup panas. Proses pembakaran merupakan proses kimia antara bahan bakar, udara dan panas. Proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar ketel (boiler) bertujuan untuk merubah air menjadi uap.

Pengetahuan mengenai sifat bahan bakar membantu dalam memilih bahan bakar yang benar untuk keperluan yang benar dan untuk penggunaan bahan bakar yang efisien. Uji laboratorium biasanya digunakan untuk mengkaji sifat dan kualitas bahan bakar. Jadi untuk melakukan pembakaran diperlukan dua unsur, yaitu :

- a. Bahan bakar
- b. Oksigen

Berbagai jenis bahan bakar (seperti bahan bakar cair, padat, dan gas) yang tersedia tergantung pada berbagai faktor seperti biaya, ketersediaan, penyimpanan, handling, dan lain-lain.

Bahan bakar padat yang terdapat di bumi kita ini berasal dari zat-zat organik. Bahan bakar padat mengandung unsur-unsur antara lain : Zat arang atau

Karbon (C), zat lemas atau Nitrogen (N), Hidrogen (H), Belerang (S), zat asam atau Oksigen (O) Abu dan Air yang kesemuanya itu terikat dalam satu persenyawaan kimia.

Bahan bakar cair berasal dari minyak bumi. Minyak bumi didapat dari dalam tanah dengan jalan mengebornya pada ladang-ladang minyak dan memompanya sampai ke atas permukaan bumi, untuk selanjutnya diolah lebih lanjut menjadi berbagai jenis minyak bakar.

Bahan bakar gas didalam tanah banyak terkandung Gas Bumi (Petrol Gas) atau sering disebut pula dengan gas alam, yang timbul pada saat proses pembentukan minyak bumi, gas tambang, dan gas rawa CH<sub>4</sub> (Methane). Seperti halnya dengan minyak bumi, gas alam tersebut diperoleh dengan jalan pengeboran dari dalam tanah, baik di daratan maupun pada lepas pantai terhadap lokasi-lokasi yang diduga terdapat kandungan gas alam. Bahan bakar yang digunakan untuk Multi Fuel Boiler ini adalah limbah dari Proses Persiapan Kayu (Wood Preparation) yaitu kulit kayu. Namun kulit kayu tersebut tidak mencukupi untuk proses produksi uap di boiler, sehingga perusahaan membeli cangkang sawit dari Pabrik Kelapa Sawit. Dan juga, karena dipengaruhi oleh nilai ekonomis, yaitu harga cangkang sawit yang cukup mahal, maka perusahaan mencampur bahan bakar tersebut dengan fiber sawit yang juga di beli dari Pabrik Kelapa Sawit. Sehingga Multi Fuel Boiler ini menggunakan 3 macam bahan bakar, yaitu fiber, cangkang sawit dan kulit kayu.

## **2.4 Air Heater**

Alat pemanas udara merupakan alat heat exchanger yang mengeksploitasi

energi panas yang terkandung pada gas buang (flue gas) untuk memanaskan udara pembakaran. Manfaat alat pemanas udara ini (air heater) sangat mendukung dalam peningkatan efisiensi pada boiler. Alat pemanas udara (air heater) ini sebagian besar digunakan oleh instalasi pabrik dan kapal.

Perkembangan alat pemanas udara (air heater) pada mulanya dikembangkan di Eropa. Unit komersil yang pertama diproduksi berasal dari Amerika Serikat yaitu alat pemanas udara (air heater) jenis plat rata. Dimana plat yang berdampingan berbentuk jalur-jalur aliran udara dan aliran gas buang (flue gas) yang bersilang-silang.

Alat pemanas udara (air heater) termasuk pada jenis sekunder. Meskipun temperatur gas buang (flue gas) yang akan dibuang ke atmosfer mempunyai temperatur minimum yaitu 80°C. Apabila pembuangan gas buang (flue gas) dibawa temperatur minimum ini, akan mengakibatkan terjadinya pengembunan pada gas buang (flue gas). Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya proses kondensasi pada permukaan saluran cerobong. Proses kondensasi ini menyebabkan terjadinya kadar asam dan sulfur dioksida. Sedikit saja timbul sulfur dioksida pada gas buang (flue gas) akan mempercepat kenaikan temperatur titik embun gas buang (flue gas) tersebut.

Alat pemanas udara (air heater) menyerap panas dari gas buang (flue gas) yang mana bertujuan untuk memanaskan udara pembakaran. Dalam hal ini alat pemanas udara terbagi menjadi dua jenis, yaitu : rekuperatif dan regeneratif. Alat pemanas udara rekuperatif adalah alat pengalih panas dengan jenis plat yang bekerja sebagai unit. Arusnya berlawanan arah atau aliran silang. Sedangkan alat pemanas udara regeneratif memakai sebuah susunan rotor besar yang hampir

setengah elemennya dipasang pada saluran gas buang (flue gas) dan setengahnya lagi pada saluran suplai udara.

## 2.5 Metode Pengkajian Efisiensi Boiler

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada skripsi ini adalah metode langsung. Secara umum skripsi ini akan membahas analisa nilai kalor bahan bakar dan perhitungan efisiensi boiler.

Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler :

### 1. Metode Langsung

Energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar boiler. Metodologi ini 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. (Syamsir A. Muin 1988:223).

$$\text{Efisiensi boiler (n)} = \frac{\text{Panas pembentukan uap}}{\text{panas masuk}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$n = \frac{ws \times (h_3 - h_1)}{wf \times LHV} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

Ws = kapasitas produksi uap (kg uap/jam)

Wf = konsumsi bahan bakar (kg/jam)

$h_3$  = entalpi uap (kJ/kg )

$h_1$  = entalpi air umpan/pengisi ketel (kJ/kg )

$L_{HV}$  = nilai kalor pembakaran rendah (kJ/kg)

## 2. Metode Tidak Langsung

Efisiensi merupakan perbedaan antar kehilangan dan energi masuk. 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:

$$\text{Efisiensi boiler (n)} = 100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii) \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

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:

- a. Analisis ultimate bahan bakar ( $H_2$ ,  $O_2$ , S, C, kadar air, kadar abu)
- b. Persentase oksigen atau  $CO_2$  dalam gas buang
- c. Suhu gas buang dalam  $^{\circ}C$  ( $T_f$ )
- d. Suhu awal dalam  $^{\circ}C$  ( $T_a$ ) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering
- e. LHV bahan bakar dalam kkal/kg
- f. Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat)
- g. LHV abu dalam kkal/kg (untuk bahan bakar padat)