

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut proyeksi Badan Energi Dunia (*International Energy Agency-IEA*), hingga tahun 2030 permintaan energi dunia meningkat sebesar 45% atau rata-rata mengalami peningkatan sebesar 1,6% pertahun. Pengelolaan Energi Nasional tahun 2006, Indonesia merupakan salah satu negara dengan persediaan sumber energi terbesar, akan tetapi pemanfaatannya masih kurang, yakni tergolong negara dengan pemanfaatan terendah. Tidak efisiennya pemanfaatan sumber energi menunjukkan Indonesia sebagai negara yang tidak produktif. Indonesia merupakan salah satu negara ekonomi berkembang yang terus melakukan kegiatan pembangunan di sektor industri [1].

Ketergantungan manusia pada bahan bakar fosil telah mengakibatkan masalah yang menyangkut polusi lingkungan dan ketahanan energi (*energy security*). Penggunaan bahan bakar fosil telah mengakibatkan emisi gas rumah kaca yang dapat memicu pemanasan global. Selain itu, cadangan energi fosil yang terus berkurang juga menimbulkan kekhawatiran mengenai aspek ketahanan dan kelestariannya [2].

Circulating Fluidized Bed (CFB) merupakan salah satu peralatan utilitas pendukung kelancaran proses produksi dan merupakan jenis *boiler* berdasarkan jenis pembakaran dimana bahan bakar padat atau batubara dibakar dengan sistem *fluidisasi bed material* yang bersirkulasi atau yang tersuspensi diudara oleh tekanan udara yang masuk (*by inlet air pressure*). Salah satu keunggulan utama CFB

adalah kemampuannya untuk mengurangi emisi gas buang berbahaya, seperti sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen oksida (NO_2), melalui penggunaan teknologi desulfurisasi yang terintegrasi. Selain itu, desain CFB yang fleksibel memungkinkan penggunaan berbagai jenis bahan bakar, menjadikannya pilihan yang menarik dalam konteks keberlanjutan dan pengelolaan limbah.

Efisiensi pada *boiler* didapatkan dari perbandingan panas aktual atau sebenarnya yang digunakan untuk pembentukan uap dari hasil pembakaran bahan bakar. Circulating Fluidized Bed (*CFB*) merupakan teknologi pembakaran yang inovatif dan efisien, yang dirancang untuk meningkatkan proses konversi energi dari bahan bakar padat. CFB banyak digunakan dalam industri pembangkit listrik dan proses industri lainnya, berkat kemampuannya untuk mengolah berbagai jenis bahan bakar, termasuk batu bara, biomassa, dan limbah[3].

Kurniawan, dkk [4] melakukan penelitian mengenai efisiensi termal dari boiler pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Amurang Unit 1. Metode yang digunakan adalah metode langsung dan tidak langsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari hasil perhitungan diperoleh efisiensi termal boiler sebesar 91,73%, dan 92,33% berturut-turut. Jika dibandingkan dengan efisiensi termal menurut spesifikasi boiler maka perbedaannya adalah 0.41% dan 0.19%.

Aziz and Hasan [5] menyatakan bahwa penggunaan jenis batubara LRC dan MRC juga sangat mempengaruhi efisiensi boiler.

Apriandi and Mursadin [6] melakukan penelitian mengenai kinerja Turbin PLTU PT. Indocement. Hasil penelitian menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan kinerja dari tahun 1998 - 2018 sebesar 1,8%.

Rante and Reska [7] melakukan penelitian mengenai efisiensi boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Semen Tonasa. Nilai efisiensi rata-rata boiler sejak tanggal 2 April 2017 hingga 11 Mei 2017 untuk metode langsung sebesar 67,98%; sedangkan untuk metode tidak langsung sebesar 78,81%. Beberapa penelitian mengenai PLTU juga telah dilakukan, semua berkaitan dengan kinerja baik boiler maupun turbin.

Dengan meningkatnya kebutuhan akan energi yang bersih dan efisien, CFB menjadi semakin relevan di berbagai sektor industri. Penelitian dan pengembangan lebih lanjut dalam teknologi CFB bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pembakaran, mengurangi emisi, dan memaksimalkan penggunaan sumber daya energi yang tersedia. Seiring dengan kemajuan teknologi, CFB diharapkan dapat memainkan peran kunci dalam transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan [8], [9].

Berdasarkan beberapa referensi penelitian sebelumnya, maka penulis mengambil judul **“ANALISA PENGARUH VARIASI RASIO BAHAN BAKAR TERHADAP EFISIENSI PEMBAKARAN PADA BOILER CFB KAPASITAS 50 TON / JAM PADA PT. SOCI MAS”**

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang disebutkan di atas maka tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui bagaimana menganalisa data pembakaran Ketel Uap CFB kapasitas 50 Ton/Jam.
2. Untuk mengetahui bagaimana Menganalisa Efisiensi Pembakaran Ketel Uap CFB kapasitas 50 Ton/Jam.
3. Untuk mengetahui fungsi Komponen-komponen kerja Ketel Uapdi PLTU.
4. Untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap efisiensi Ketel Uap CFB.
5. Bagaimana pengaruh variasi rasio bahan bakar terhadap efisiensi pembakaran pada boiler CFB kapasitas 50 ton/jam di PT. Soci Mas?
6. Apa rasio bahan bakar optimal yang menghasilkan efisiensi pembakaran tertinggi? Bagaimana variasi rasio bahan bakar memengaruhi emisi polutan?

1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih Mengarahkan ke pokok pembahasan dalam penyusunan laporan tugas ini, maka penulis memberi batasan cakupan masalah. Adapun batasan masalah yang akan dibahas pada laporan ini adalah :

1. Penjelasan prinsip kerja Ketel Uap CFB.
2. Penjelasan Sistem pembakaran pada Ketel Uap CFB.
3. Menganalisa data pembakaran pada Ketel Uap CFB.
4. Menghitung efisiensi dengan rata- rata data looksheet selama 6 hari.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang disebutkan di atas maka tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui kebutuhan udara pada proses sistem pembakaran Ketel Uap CFB kapasitas 50 Ton/Jam.
2. Untuk mengetahui efisiensi sistem pembakaran Ketel Uap CFB kapasitas 50 Ton/Jam.
3. Untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap efisiensi Ketel Uap CFB.

1.5 Manfaat Peneletian

Adapun manfaat penulisan tugas akhir skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai persyaratan dalam menyelesaikan Program Pendidikan sarjana di Universitas Islam Sumatra Utara.
2. Bermanfaat bagi penulis dan pembaca dalam menambah ilmu pengetahuan, pengalaman dan wawasan baik secara praktek maupun secara teori yang nantinya akan sangat berguna sebagai bekal ataupun persiapan untuk masuk dalam dunia industri maupun bidang lainnya.
3. Dapat menjadi referensi tambahan dan pengetahuan bagi mahasiswa atau orang-orang yang ingin mempelajari tentang Ketel Uap pipa air khususnya di Universitas Islam Sumatera Utara Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Mesin.
4. Dapat menjadi salah satu referensi untuk pengoperasian Ketel Uap yang lebih efektif dan efisien bagi pihak industri.

1.6 Sistematika Penulisan Skripsi

Tugas akhir ini disusun sedemikian rupa sehingga diharapkan dapat disajikan secara sistematis. Penyusunan tugas akhir ini terdiri dari lima bab, masing-masing bab diuraikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, dan Sistematika Penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian teori yang relevan dengan topik penelitian, serta penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait Ketel Uap CFB.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan, termasuk jenis penelitian, teknik pengumpulan data, dan teknik analisa data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian yang telah diolah dan dianalisa serta pembahasan yang komperhensif mengenai hasil tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisi daftar semua referensi yang digunakan dalam penulisan

LAMPIRAN

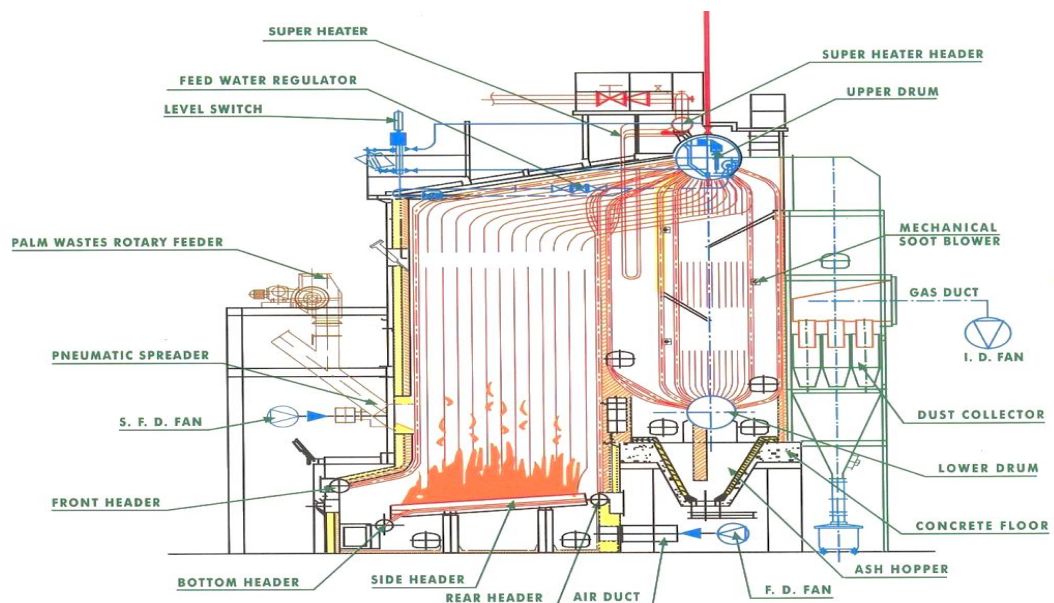
Bab ini berisi data mentah, dan dokumentasi penelitian

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Boiler

Boiler atau Ketel Uap adalah suatu bejana tertutup yang didalamnya berisi air untuk dipanaskan. Energi panas dari uap air keluaran *boiler* tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, pemanas ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya. Dalam proses konversi energinya, *boiler* memiliki fungsi sebagai mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi panas (*thermal*) yang diterima oleh *fluida* kerja. Panas yang diberikan kepada *fluida* yang ada *diboiler* berasal dari proses pembakaran dengan berbagai macam jenis bahan bakar yang dapat digunakan, seperti kayu, batubara, minyak bumi, dan gas [10]. Gambar boiler dapat dilihat seperti dibawah ini.



Gambar 2. 1 Boiler [11]

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.

Sebuah *boiler* harus dilengkapi peralatan yang dapat mempermudah atau membantu kinerjanya sehingga pengoperasiannya berjalan dengan baik dan aman.

Boiler harus mempunyai kriteria atau persyaratan sebagai berikut :

1. Dapat menghasilkan uap dengan berat tertentu dalam waktu yang ditentukan, serta tekanannya lebih besar dari satu atmosfer.
2. Apabila menggunakan alat superheater, maka suhu uap pada pemakaian terakhir tidak berubah terlalu banyak dan dapat diatur dengan mudah.
3. Jika pemakaian uap tidak stabil, maka tekanan uap tidak boleh berubah banyak.
4. Kadar air yang dihasilkan pada uap panas harus sedikit.
5. Uap harus dibentuk dengan jumlah bahan bakar sehemat mungkin.

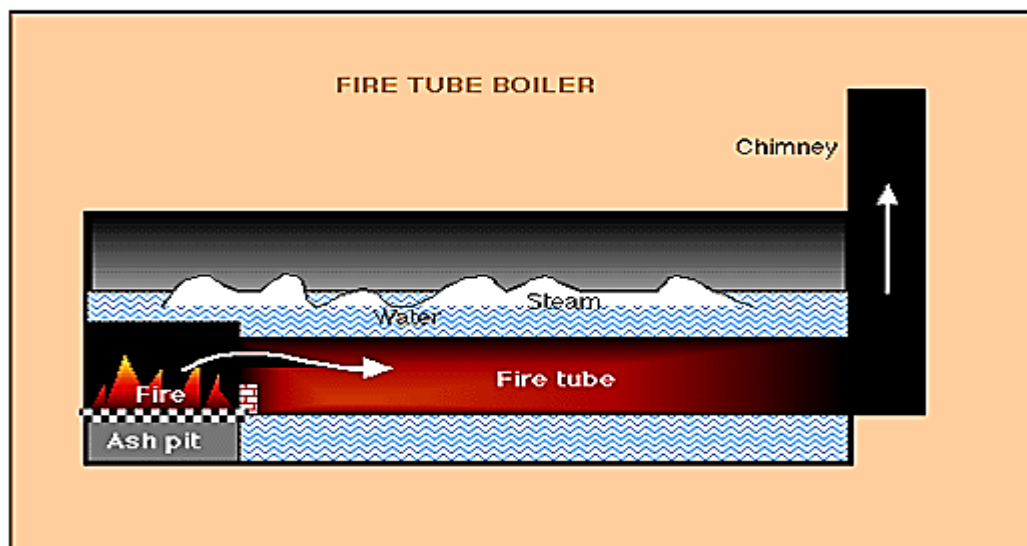
Prinsip kerja *boiler* adalah mesin konversi yang dimana fungsinya mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara terus menerus didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara luar. Uap yang dihasilkan *boiler* adalah uap panas lanjut (*superheat*) dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pipa, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. Pada pembangkit umumnya *boiler* disebut juga sebagai pembangkit uap (*steam generator*) dikarenakan arti kata *boiler* hanya pendidih, sementara pada kenyataannya dari *boiler* dihasilkan uap *superheat* dan bertekanan tinggi.

2.2 Jenis-Jenis Boiler

Berbagai ragam jenis bentuk *boiler* telah berkembang mengikuti kemajuan teknologi dan evaluasi dari jenis *boiler* sebelumnya yang dipengaruhi oleh gas buang *boiler* yang mempengaruhi lingkungan dan produksi uap seperti apa yang dihasilkan.

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 boiler* biasanya digunakan untuk kapasitas *steam* yang *relative* kecil dengan tekanan *steam* rendah sampai sedang. Sebagai pedoman, *fire tube boiler* kompetitif untuk kecepatan *steam* sampai 12.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg/cm². *Fire tube boiler* dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam oprasionalnya. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar *fire tube boiler* dikonstruksi untuk semua bahan bakar [12]. Gambar *fire tube boiler* dapat dilihat dari gambar dibawah.



Gambar 2. 2 Fire Tube Boiler [12]

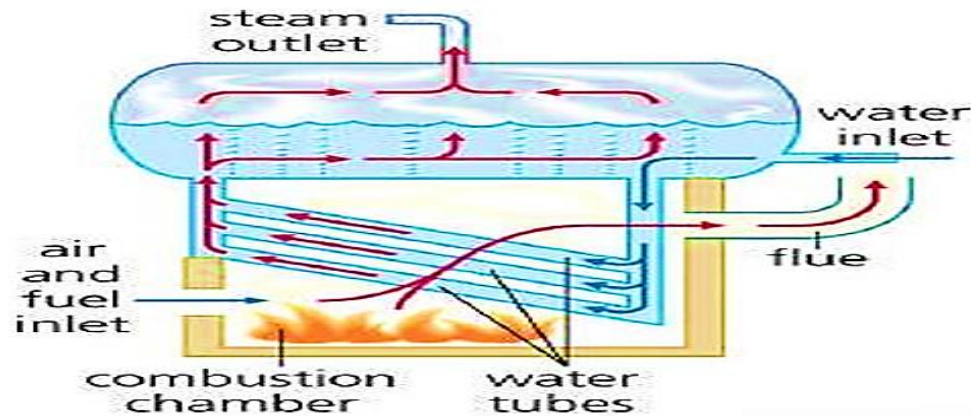
2. *Water Tube Boiler*

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 boiler* 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 [13].

Karakteristik *water tube boilers* sebagai berikut:

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

Gambar Diagram sederhana *water tube boiler* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 3 Diagram sederhana *water tube boiler* [12]

3. Paket Boiler

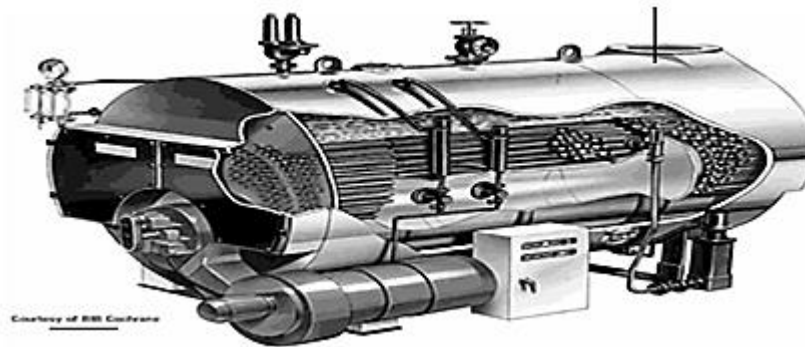
Disebut *boiler* paket sebab sudah tersedia sebagai paket yang lengkap. Pada saat dikirim ke pabrik, hanya memerlukan pipa steam, pipa air, suplai bahan bakar dan sambungan listrik untuk dapat beroperasi. Paket *boiler* biasanya merupakan tipe *shell and tube* dengan rancangan *fire tube* dengan *transfer*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

Ciri-ciri dari *packaged boilers* adalah:

- a. Kecilnya ruang pembakaran dan tingginya panas yang dilepas menghasilkan penguapan yang lebih cepat.
- b. Banyaknya jumlah pipa yang berdiameter kecil membuatnya memiliki perpindahan panas konvektif yang baik.
- c. Sistem *forced* atau *induced draft* menghasilkan efisiensi pembakaran yang baik.
- d. Sejumlah lintasan/pass menghasilkan perpindahan panas keseluruhan yang lebih baik.

- e. 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. Gambar Jenis Paket Boiler 3 Pass, bahan bakar dapat dilihat pada gambar berikut ini.

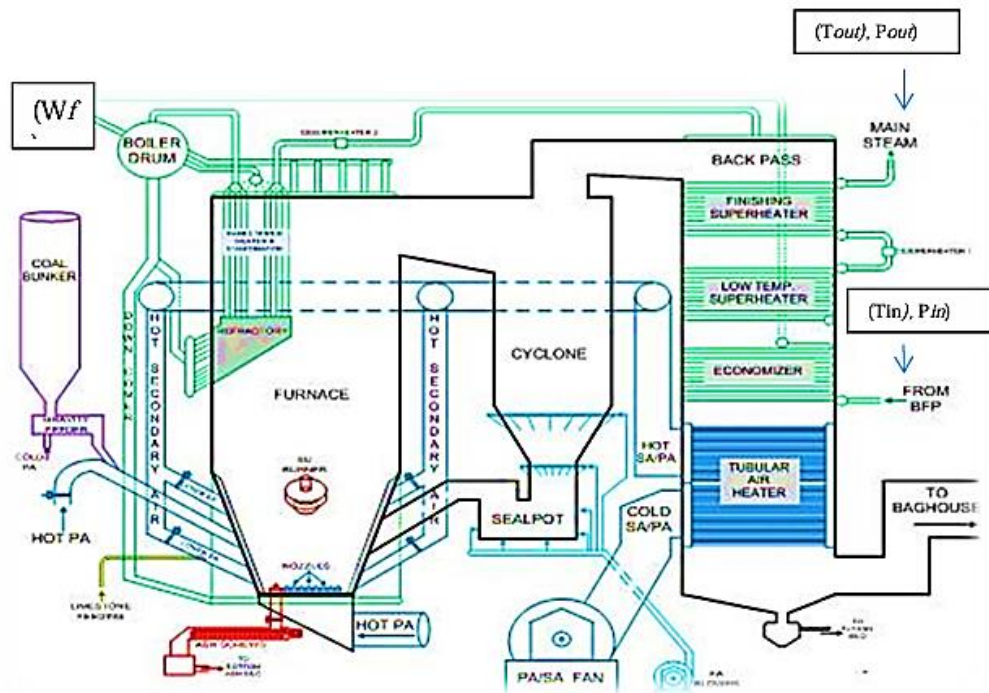


Gambar 2. 4 Jenis Paket Boiler 3 Pass, bahan bakar [12]

2.3 Prinsip Kerja Boiler

Prinsip kerja boiler adalah mesin konversi yang dimana fungsinya mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara terus menerus didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara luar. Uap yang dihasilkan boiler adalah uap panas lanjut (superheat) dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pipa, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. Pada pembangkit umumnya boiler disebut juga

sebagai pembangkit uap (steam generator) dikarenakan arti kata boiler hanya pendidih, sementara pada kenyataannya dari boiler dihasilkan uap superheat dan bertekanan tinggi. Gambar Prinsip Kerja Boiler *Circulating fluidized bed (CFD)* dapat dilihat dari gambar dibawah.



Gambar 2. 5 Prinsip Kerja Boiler *Circulating fluidized bed (CFD)* [14]

Boiler yang fungsinya disebut juga sebagai steam generator (penghasil uap), ialah suatu bentuk sistem pembakaran yang merupakan gabungan dari beberapa peralatan yang di desain untuk saling terhubung dalam suatu proses untuk mengubah air menjadi uap bertekanan yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin dan generator sehingga menghasilkan listrik di sebuah power plant (pembangkit listrik).

Secara umum, di dalam boiler terdapat 3 proses yaitu:

- a. Proses air menjadi steam.
- b. Proses bahan bakar (batubara, cangkang, oil, dan serabut) sampai menjadi abu sisa pembakaran.
- c. Proses udara sampai menjadi gas buang

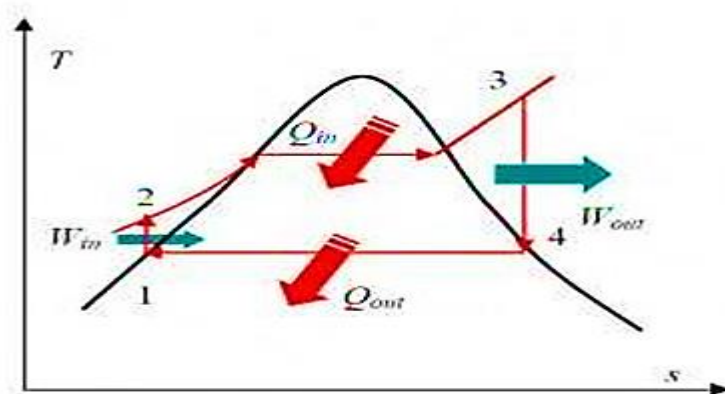
Di dalam prinsip kerja boiler perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berada di dalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran di ruang bakar dilakukan secara kontiniu dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan oleh Katel Uap adalah uap panas lanjut (superheat) dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan perpindahan panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan.

2.4 Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah sebuah siklus termodinamika yang mengkonversi energi panas menjadi kerja/energi gerak. Dikembangkan oleh William John Macquorn Rankine pada abad ke-19 dan sejak saat itu banyak diaplikasikan pada mesin-mesin uap. Saat ini siklus Rankine digunakan pada pembangkit-pembangkit listrik. Karena Rankine adalah siklus uap-cair, maka yang paling sesuai adalah menggambarkan prosesnya dalam diagram P-v dan T-s. Fluida kerjanya biasanya, tetapi tidak selalu, adalah H₂O. Siklus Rankine ideal terdiri dari proses kompresi isentropik pada pompa, penambahan kalor pada tekanan konstan di boiler/ketel uap, ekspansi isentropik pada turbin dan pelepasan kalor pada tekanan tetap di kondensor. Temperatur air sedikit meningkat selama proses kompresi isentropik karena ada penurunan kecil dari volume jenis air, air masuk boiler sebagai cairan

kompresi pada kondisi 2 dan meninggalkan boiler sebagai uap kering pada kondisi 3. Boiler pada dasarnya penukar kalor yang besar dimana sumber panas dari pembakaran gas, reaktor nuklir atau sumber yang lain ditransfer secara esensial ke air pada tekanan konstan [14].

Uap superheater pada kondisi masuk ke turbin yang mana uap diekspansikan secara isentropik dan menghasilkan kerja oleh putaran poros yang dihubungkan pada generator listrik. Temperatur dan tekanan uap jatuh selama proses ini mencapai titik 4, dimana uap masuk ke kondensor dan pada kondisi ini uap biasanya merupakan campuran cairan-uap jenuh dengan kualitas tinggi. Uap dikondensasikan pada tekanan konstan di dalam kondensor yang merupakan alat penukar kalor mengeluarkan panas ke medium pendingin. Gambar diagram siklus rankine dapat dilihat dari gambar dibawah.



Gambar 2. 6 Diagram *Siklus Rankine* [15]

Proses yang terjadi dalam siklus rankine, setiap siklus mengubah keadaan fluida (tekanan dan/atau wujud) yaitu:

Proses 1-2 : Fluida kerja/air dipompa dari tekanan rendah ke tinggi, sehingga mengalami kenaikan temperatur dan tekanan. Proses ini terjadi di pompa air pengisi dan langkahnya disebut isentropis;

Proses 2-2' : Air yang telah dipompakan selanjutnya dipanaskan sampai mencapai titik didihnya. Proses ini terjadi di economizer atau di deaerator;

Proses 2'-3 : Pada langkah ini, air (saturated water) berubah wujud menjadi uap jenuh (saturated steam). Langkah ini disebut sebagai proses penguapan (vapourising) secara isobar isothermis. Proses ini terjadi di Katel Uap yaitu wall tube;

Proses 3-4 : Uap dipanaskan lebih lanjut hingga menjadi superheated steam. Langkah ini terjadi di superheater dengan proses isobar;

Proses 4-5 : Superheated steam dari boiler masuk ke turbin dan menghasilkan energi listrik, hal ini mengurangi temperatur dan tekanan uap. Langkah ini adalah ekspansi isentropis, dan terjadi di dalam turbin;

Proses 5-1 : Uap air yang keluar dari turbin masuk ke kondensor dan mengalami kondensasi secara isobarik. Uap air diubah fasenya menjadi cair kembali sehingga dapat digunakan kembali pada proses siklus.

2.5 Unsur-Unsur Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia yang terjadi antara material yang dapat terbakar dengan oksigen pada volume dan temperatur tertentu. Tujuan utama pembakaran adalah untuk melepaskan semua energi dalam bahan bakar, dengan seminimal mungkin terjadi kehilangan yang disebabkan oleh pembakaran yang tidak sempurna dan udara lebih. Dalam suatu reaksi pembakaran lengkap, suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi, dan produknya adalah senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar dengan zat pengoksidasi. Dalam kenyataannya, proses

pembakaran tidak pernah sempurna. Dalam gas cerobong dari pembakaran karbon (seperti dalam pembakaran batubara) atau senyawa karbon (seperti dalam pembakaran hidrokarbon, kayu, dan lainnya) akan ditemukan baik karbon yang tidak terbakar maupun senyawa karbon (CO dan lainnya). Jika pembakaran pada suhu tinggi menggunakan udara (mengandung 78% nitrogen), maka sebagian kecil nitrogen akan bereaksi menjadi berbagai jenis nitrogen oksida (NO_x) yang berbahaya [16], [17]. Gambar segi tiga pembakaran dapat dilihat dari gambar dibawah.

Ada tiga unsur pembakaran, yaitu :



Gambar 2. 7 Segi Tiga Pembakaran

Ketiga dari ketiga unsur ini biasanya disebut segitiga pembakaran. Pada kondisi tertentu bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya. Tanpa bantuan sumber penyalaan pembakaran jenis seperti ini disebut pembakaran spontan.

1. **Bahan Bakar**

Bahan bakar adalah semua benda yang dapat mendukung terjadinya pembakaran [17]. Ada tiga wujud bahan bakar , diantaranya yaitu :

a. **Bahan bakar padat**

Bahan bakar padat ini terdapat di bumi kita ini berasal dari zat-zat organik. Bahan bakar padat mengandung unsur-unsur kimia seperti, Karbon (C), Nitrogen (N), Hidrogen (H), Belerang (S), Oksigen (O₂), Abu, dan Air yang terikat di dalam suatu persenyawaan kimia [18].

b. **Bahan bakar cair**

Bahan bakar cair ini berasal dari minyak bumi. Minyak bumi didapat dari dalam tanah dengan mengebornya pada ladang-ladang minyak, dan memompakan minyak ke atas permukaan bumi, untuk selanjutnya diolah lagi menjadi berbagai jenis minyak bumi.

c. **Bahan bakar gas**

Bahan bakar gas ini berasal dari gas bumi (petrol gas) atau biasa disebut dengan gas alam. Seperti halnya minyak bumi, gas alam juga diperoleh dengan pengeboran dari dalam tanah, baik dari tanah maupun di lepas pantai terhadap lokasi-lokasi yang diduga terdapat kandungan gas alam [19].

2. **Oksigen**

Di dalam udara terdapat bermacam-macam unsur seperti nitrogen, argon, dan salah satunya adalah oksigen. Pada kondisi normal udara terdapat jumlah oksigen sebesar 20%, dan oksigen dengan kadarnya minimum yaitu sebesar 16% dapat menjadi unsur-unsur pembentuk api.

3. Sumber Panas

Normal udara terdapat jumlah oksigen sebesar 20%, dan oksigen dengan kadarnya minimum yaitu sebesar 16% dapat menjadi unsur-unsur pembentuk api.

2.6 Kebutuhan Udara

Untuk dapat menghitung kebutuhan oksigen dan udara secara teoritis bagi proses pembakaran bahan bakar, maka perlu diingat berat dari unsur atom dari masing-masing unsur yang terkait dalam reaksi pembakaran. Agar mempermudah mengingatnya gunakan daftar tabel berikut :

Tabel 2. 1 Berat Unsur Atom

Nama Unsur Kimia	Simbol	Berat Atom
Karbon	C	12
Hidrogen	H	1
Oksigen	O	16
Nitrogen	N	14
Sulfur	S	32

(sumber: *buku heat engineering*)

Selain itu untuk menghitung kebutuhan udara teoritis maka harus diketahui komposisi dari udara.

Tabel 2. 2 Komposisi udara

Kandungan Massa Udara (%)		Kandungan Volume Udara (%)	
Oksigen	23	Oksigen	21
Nitrogen	77	Nitrogen	79

(sumber: *buku heat engineering*)

Fungsi dari sistem udara pembakaran adalah untuk menyediakan udara yang cukup untuk kebutuhan proses pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar (Furnace). Karena proses pembakaran berlangsung terus selama Katel Uap beroperasi, maka pasokan udara pembakaran pun harus dilakukan secara terus-menerus serta produk gas hasil pembakaran juga harus dikeluarkan secara terus-menerus.

2.7 Pembakaran Boiler

Ada beberapa hal yang mempengaruhi pembakaran pada boiler :

1. Neraca panas (Neraca kalor)

Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk Ketel Uap terhadap yang meninggalkan Ketel Uap dalam bentuk yang berbeda. Parameter kinerja ketel uap, seperti efisiensi dan rasio penguapan, berkurang terhadap waktu disebabkan buruknya pembakaran, kotornya permukaan penukar panas dan buruknya operasi dan pemeliharaan. Bahkan untuk Ketel Uap yang baru sekalipun, alasan seperti buruknya kualitas bahan bakar dan kualitas air dapat mengakibatkan buruknya kinerja ketel uap. Neraca panas dapat membantu dalam mengidentifikasi kehilangan panas yang dapat atau tidak dapat dihindari. Uji efisiensi Ketel Uap dapat membantu dalam menemukan penyimpangan efisiensi Ketel Uap dari efisiensi terbaik dan target area permasalahan untuk tindakan perbaikan. Gambar berikut memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi

untuk pembangkitan steam. Kehilangan berikut dapat dihindari atau dikurangi:

- a. Kehilangan gas cerobong. Udara berlebih (diturunkan hingga ke nilai minimum yang tergantung dari teknologi burner, operasi (kontrol), dan pemeliharaan).
- b. Kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu (mengoptimalkan operasi dan pemeliharaan; teknologi burner yang lebih. Kehilangan panas pada Katel Uap berbahan bakar batubara baik).
- c. Kehilangan dari blowdown (pengolahan air umpan segar, daur ulang kondensat).
- d. Kehilangan kondensat (manfaatkan sebanyak mungkin kondensat).
- e. Kehilangan konveksi dan radiasi (dikurangi dengan isolasi Katel Uap yang lebih baik).

2. Nilai Kalor

Nilai kalor adalah suatu reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara yang menghasilkan panas. Besarnya suatu panas yang ditimbulkan dalam satu satuan bahan bakar dibakar sempurna disebut nilai kalor bahan bakar. Berdasarkan asumsi ikut tidak panas laten pengembunan uap air dihitung sebagai bagian dari nilai kalor suatu bahan bakar, maka nilai kalor bahan bakar dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

- a. Nilai Kalor Atas (High Heating Value) Nilai kalor atas diperoleh dengan cara melakukan eksperimen dengan menggunakan bomb calorimeter dimana hasil pembakaran bahan bakar akan didinginkan

sampai suhu kamar sehingga sebagian besar uap air yang terbentuk dari pembakaran hidrogen mengembun dan melepaskan panas laten.

- b. Nilai Kalor Bawah (Low Heating Value) Nilai kalor bawah merupakan nilai kalor bahan bakar tanpa panas laten yang berasal dari pengembunan uap air. Umumnya kandungan hidrogen dalam bahan bakar cair berkisar 15% yang berarti setiap satu satuan bahan bakar 0.15 merupakan bagian dari hidrogen. Pada proses pembakaran sempurna, air yang dihasilkan dalam pembakaran bahan bakar adalah setengah dari jumlah mol hidrogen.

2.8 . Unjuk Kerja Boiler

Parameter-parameter unjuk kerja dari boiler seperti halnya efisiensi, rasio penguapan dan lain-lain akan selalu mengalami penurunan yang disebabkan oleh buruknya proses pembakaran, permukaan komponen heat transfer yang kotor, dan tentunya disebabkan juga oleh pengoperasian serta pemeliharaan yang tidak sesuai dengan standar.

2.8.1 Komposisi Bahan Bakar Bata Bara

Nilai kalor atas / High Heating Value (HHV) bahan bakar batu bara

$$\text{HHV} = 33.915 C + 1.44.033 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 10.468 S \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Nilai Kalor Bawah / Low Heating Value (LHV) bahan bakar batu bara

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2.411 (M + 9 H_2) \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots(2.2)$$

2.8.2 Konsumsi Bahan Bakar

Besarnya konsumsi bahan bakar dapat diketahui dari persamaan berikut :

$$W_f = \frac{W_s (H_{sh} - H_a)}{\eta_k - LHV} \dots\dots\dots (2.3)$$

Syamsir A. Muin (1998)

Dimana:

W_f = Jumlah Bahan Bakar yang dibutuhkan (Kg/jam)

W_s = Kapasitas Katel Uap5 (Ton/jam)

H_{sh} = Entalphi Uap superheater ($^{\circ}C$) = 710,6 kcal/kg.

H_a = Entalphi air pengisi ketel ($^{\circ}C$) = 60 kcal/kg.

LHV = Nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg)

η_k = Efisiensi ketel (70% - 90%) = diambil 80%

2.8.3 Konsumsi Udara Pembakaran

Volume udara yang dibutuhkan adalah :

Berat pembakaran aktual adalah :

$$W_{a. aktual} = W_{a. aktual} + (0,3 \cdot W_{a. th}) \text{ kg ud/kg bb} \dots\dots\dots (2.4)$$

Berat pembakaran secara teoritis adalah :

$$W_{a. teoritis} = \frac{2,66 C + 7,94 H_2 + 0,998 S - O_2}{0,232} \text{ kg ud/kg bb} \dots\dots\dots (2.5)$$

Djokosetyardjo M. J. (2003)

2.8.4 Analisa Pembakaran Gas Asap

Besarnya total pembakaran gas asap dapat di tentukan dari persamaan berikut :

$$T_{gl} = \frac{Q_f - Q_w}{W_g \cdot CP} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

Q_f = Kalor yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar = $W_f \cdot LHT$

Q_w = Kalor yang diserap oleh dapur.

W_g = Berat gas asap

C_p = panas jenis gas asap

2.8.5 Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler adalah perbandingan antara energi evaporasi (penguapan) terhadap energi suplai bahan bakar atau perbandingan energi keluaran(output) terhadap energi masuk(input). Untuk mengetahui besarnya efisiensi suatu boiler dapat dihitung dengan persamaan :

$$Efisiensi\ Boiler = \frac{Energi\ Keluar\ (Q\ Out)}{Energi\ Suplai\ Bahan\ Bakar\ (Q\ in)} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\eta_b = \frac{Q(h_g - h_f)}{q \cdot CGV} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

Sitompul (1996)

Keterangan :

Q = Jumlah hasil steam (kg/jam).

q = Jumlah konsumsi bahan bakar (kg/jam).

h_g = Enthalpy steam jenuh (kkal/kg).

h_f = Enthalpy air umpan (kkal/kg).

GCV = Nilai panas kotor bahan bakar (kkal/kg) (Unep 2006).