

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Boiler mempunyai peranan yang sangat penting dalam kelangsungan kinerja dari sebuah pabrik kelapa sawit dengan kata lain bisa dikatakan sebagai jantung dari pabrik kelapa sawit. Fungsi dari boiler adalah menghasilkan uap yang digunakan untuk kebutuhan proses pabrik, dan membangkitkan listrik untuk kebutuhan pabrik maupun perumahan karyawan di sekitar pabrik.

Peralatan pabrik yang berupa sistem boiler merupakan asset yang sangat penting bagi perusahaan. Boiler disini mempunyai peranan penting dalam proses produksi uap, dimana uap ini nantinya akan digunakan untuk memutar turbin uap sebagai penghasil energi listrik untuk kebutuhan pabrik dan uap keluaran turbin digunakan untuk proses pengolahan, di *PT MULTIMAS NABATI ASAHAN* uap menjadi kebutuhan utama, dimana uap dibutuhkan untuk stasiun perebusan (*sterilizer*), stasiun press (*digester*), stasiun klarifikasi, stasiun pengolahan inti sawit, dan stasiun tangki timbun.

Apabila terjadi gangguan pada sistem boiler tersebut maka kelancaran dan kontinuitas produksi uap akan terganggu sehingga produksi minyak kelapa sawit yang dihasilkan juga akan mengalami gangguan. Untuk mengetahui kinerja boiler yang ada di *PT MULTIMAS NABATI ASAHAN* maka penulis akan menganalisa dan menghitung efisiensi boiler.

Berdasarkan uraian diatas, penulis merasa tertarik untuk melakukan analisis pada boiler yang ada di *PT MULTIMAS NABATI ASAHAN* dengan mengangkat judul Tugas Akhir ini “*Analisa Efisiensi Pada Water Tube Boiler Type Vickers Hopkins Berbahan Bakar Fiber, Cangkang Sawit, Dan Empty Fruit Bunch di PT Multimas Nabati Asahan*”.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah menghitung Kebutuhan bahan bakar dan kapasitas produksi uap ?
2. Bagaimana menganalisa efisiensi Boiler berdasarkan data di lapangan yang diperoleh ?
3. Seberapa besar efisiensi bahan bakar pada boiler ?
4. Bagaimana menghitung nilai kalor bahan bakar ?

1.3. Batasan Masalah

Dalam penyusunan laporan ini, penulis membatasi masalah-masalah yang akan dibahas. Adapun batasan masalah yang akan dibahas dalam laporan ini adalah:

1. Menghitung efisiensi *water tube boiler* dari data di lapangan
2. Menghitung nilai kalor bahan bakar

3. Menghitung komposisi bahan bakar ketel uap
4. Menghitung pemakaian bahan bakar per jam
5. Menghitung Kapasitas produksi uap per jam
6. Metode Analisa yang digunakan adalah metode langsung

1.4. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan Laporan Tugas Akhir ini Adalah :

1. Menjelaskan komponen – komponen dan perlengkapan komponen *water tube boiler*
2. Menghitung Komposisi bahan bakar
3. Menghitung nilai kalor bahan bakar
4. Menghitung Pemakaian dan Kapasitas produksi uap / jam
5. Menghitung efisiensi ketel uap menggunakan data lapangan

1.5. Manfaat Tugas Akhir

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Bermanfaat terhadap penulis untuk mendapatkan pengetahuan dan pengalaman terkhususnya mengenai *boiler* sehingga dapat menjadi modal sebelum memasuki dunia kerja.
2. Sebagai bahan perbandingan bagi mahasiswa lain yang akan membahas hal yang sama.
3. Membandingkan antara teori yang diperoleh dari bangku perkuliahan dengan yang ada dilapangan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian mengenai efisiensi maupun kinerja pada ketel uap (boiler) sudah pernah dilakukan di beberapa sistem pembangkit tenaga uap dengan berbagai metode perhitungan. Salah satu tolak ukur baik atau tidaknya kinerja suatu boiler yaitu dengan menggunakan metode langsung. Dan berikut adalah penelitian-penelitian dengan metode serupa yang pernah dilakukan akan menjadi referensi penulisan guna untuk mendukung penyusunan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Vivi Aria Lestari (2017) dalam penelitian untuk tugas akhir Politkenik Negeri Medan mengenai studi “Analisa Efisiensi Ketel Uap Pipa Air Kapasitas 55 Ton/Jam dan Tekanan Uap 46 Bar di PT Multimas Nabati Asahan” menyimpulkan bahwa didapatkannya nilai efisiensi thermal dari ketel uap tersebut sebesar 65% dengan besarnya kehilangan energi panas yang dihasilkan yaitu sebesar 5.348,775 kJ/kgBB atau 35%
2. Putra Is Dewata (2011) dalam penelitian jurnalnya tentang studi “Analisa Teknis Evaluasi Kinerja Boiler Type IHI FW SR Drum Akibat Kehilangan Panas di PLTU PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik” menyimpulkan bahwa faktor kehilangan panas (heat loss) terbesar diakibatkan karena kehilangan panas gas buang. Faktor lainnya yang menyebabkan penurunan efisiensi ialah karena kehilangan panas yang disebabkan kandungan air yang terdapat

pada proses pembakaran unsur hidrogen. Kebersihan pada permukaan *tube* pada *boiler* sangat berpengaruh penting terhadap proses perpindahan panas (heat transfer) karena apabila terdapat kerak (scale) pada permukaan dinding boiler dan adanya pengendapan (fouling) kotoran dapat menyebabkan terhambatnya perpindahan panas dan menyebabkan penurunan efisiensi.

Berdasarkan uraian diatas, penulis merasa tertarik untuk melakukan analisis pada boiler yang ada di *PT MULTIMAS NABATI ASAHAN*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengertian Ketel Uap

Boiler atau ketel uap adalah suatu bejana yang di dalamnya air atau *fluida* lain untuk dipanaskan. Energi panas dari *fluida* tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, pemanas ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya. 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. (Harry Christian Hasibuan, 2013)

Uap yang dihasilkan *boiler* adalah uap panas lanjut (*superheat*) dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. *Boiler* yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa air disebut dengan *water tube*

boiler. Boiler yang digunakan di PT Multimas Nabati Asahan adalah *Multi Fuel Boiler*. *Multi Fuel Boiler* ini menggunakan bahan bakar serabut atau *fiber*, cangkang sawit, dan EFB (*Empty Fruit Bunch*). (PT Multimas Nabati Asahan Kuala Tanjung,2023)

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 system 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* di PT Multimas Nabati Asahan Kuala Tanjung untuk dirubah menjadi steam disebut air umpan. Air umpan yang disuplai ada dua (2) jenis yaitu :

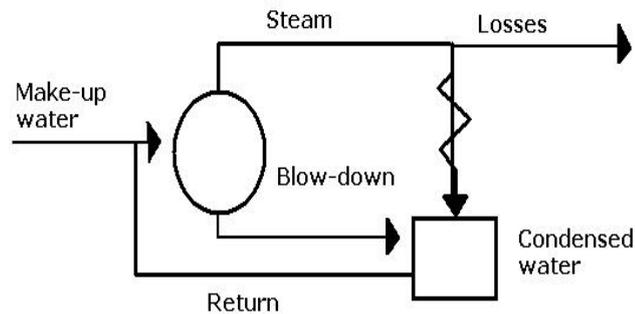
1. Kondensat atau steam yang mengembun yang kembali ke proses.
2. Air baku dari sungai besar kuala indah yang diolah (*make up water*) yang harus diumpankan dari *water treatment* ke *feed water tank*

2.2.2 Prinsip Kerja Boiler

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 perbaikan. Sistem steam 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 up 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 pompakan 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.(Vivi, 2017)



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Boiler

2.2.3 Kalsifikasi Boiler

Berbagai bentuk boiler telah berkembang mengikuti kemajuan teknologi dan evaluasi dari produk-produk boiler sebelumnya yang dipengaruhi oleh gas buang boiler yang mempengaruhi lingkungan dan produk uap seperti apa yang akan dihasilkan.

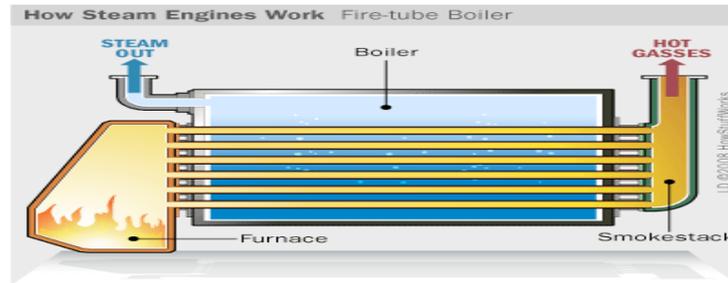
Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, maka ketel diklasifikasikan sebagai:

1. Ketel Uap Pipa Api

Pada ketel pipa api, fluida yang mengalir dalam pipa adalah gas nyala (hasil pembakaran), yang membawa energi panas (*thermal energy*), yang segera mentransfernya ke air ketel melalui bidang pemanas (*heatingsurface*). Tujuan pipa-pipa api ini adalah untuk memudahkan distribusi panas (*kalor*) kepada air ketel.

Api/gas asap mengalir dalam pipa sedangkan air/uap diluar pipa Drum berfungsi untuk tempat air dan uap, disamping itu drum juga sebagai tempat bidang pemanas. Bidang pemanas terletak di dalam drum, sehingga luas bidang

pemanas yang dapat dibuat terbatas.



Gambar 2.2 Ketel uap pipa api

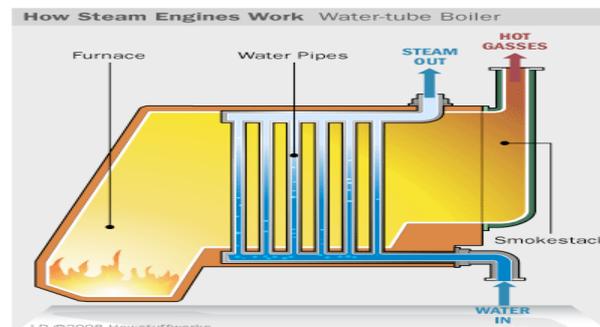
Tabel 2.1 Kelebihan dan Kelemahan Boiler Pipa Api

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Tidak membutuhkan area yang besar untuk 1 HP ketel uap 	<ul style="list-style-type: none"> • Nilai efisiensinya rendah, karena banyak energi kalor yang terbangun langsung menuju satck
<ul style="list-style-type: none"> • Bentuknya lebih compact dan portabel 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempat pembakarannya sulit dijangkau untuk dibersihkan, diperbaiki, dan diperiksa kondisinya
<ul style="list-style-type: none"> • Investasi Ketel Uap Pipa Api Murah 	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas steam relatif kecil jika dibandingkan water tube boiler
<ul style="list-style-type: none"> • Proses pemasangan mudah dan cepat 	<ul style="list-style-type: none"> • Tekanan Operasi steam Terbatas untuk tekanan rendah (18 bar)

2. Ketel Uap Pipa Air

Tipe ketel uap air memiliki karakteristik : menghasilkan kapasitas dan tekanan steam yang tinggi.

Cara kerja : proses pengapian terjadi diluar pipa, kemudian panas yang dihasilkan memanaskan pipa yang berisi air dan sebelumnya air tersebut dikondisikan terlebih dahulu melalui economizer, kemudian uap yang dihasilkan terlebih dahulu dikumpulkan di dalam sebuah drum uap. Sampai tekanan dan temperatur sesuai, melalui tahap secondary superheater dan primary superheater baru uap dilepaskan ke pipa utama distribusi. Didalam pipa air, air yang mengalir harus dikondisikan terhadap mineral atau kandungan lainnya yang larut.



Gambar 2.3 Ketel uap pipa air

Ketel uap yang digunakan di PT Multimas Nabati Asahan dengan design tekanan kerja 84 bar ada ketel uap pipa air. Bahan bakar yang digunakan adalah cangkang/shell, serabut/fiber, EFB (*empty fruit bunch*).

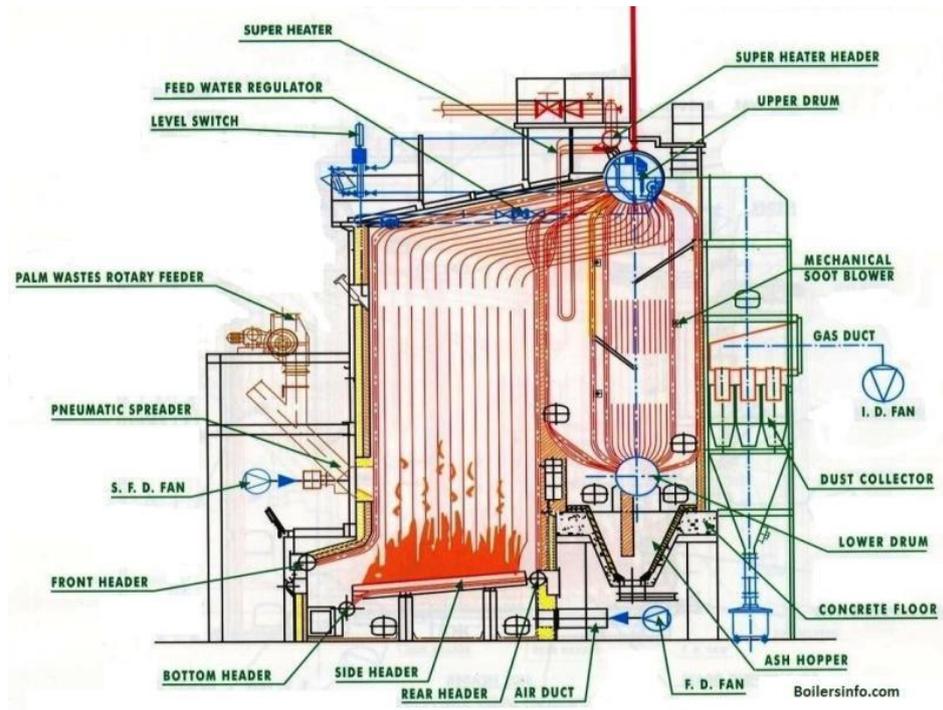
Tabel 2.2 Kelebihan dan Kelemahan Boiler Pipa Air

Kelebihan	Kelemahan
<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas steam besar sampai 450 t/h 	<ul style="list-style-type: none"> • Proses konstruksi lebih detail
<ul style="list-style-type: none"> • Tekanan operasi mencapai 100 bar dan Efisiensi relatif lebih tinggi dari fire tube boiler 	<ul style="list-style-type: none"> • Investasi awal relatif mahal
<ul style="list-style-type: none"> • Tungku mudah dijangkau untuk dilakukan pemeriksaan, pembersihan, dan perbaikan 	<ul style="list-style-type: none"> • Penanganan air yang masuk kedalam boiler perlu dijaga, karena lebih sensitif

2.2.4 Komponen Boiler

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

Boiler terdiri dari 2 komponen utama, yaitu : 1. Furnace (ruang bakar) sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas. 2. Steam Drum yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial steam (energi panas).



Gambar 2.4 Ketel uap pipa air

1. Komponen utama boiler terdiri dari :

a. Pembakar

Pembakar (burner) adalah alat yang digunakan untuk mencampur bahan bakar dan udara. Caranya adalah dengan menyemburkan kedalam ruang dapur melalui mulut-mulut pembakar atau brander, sedangkan udara dimasukkan lewat sekeliling mulut pembakar tersebut. Ada beberapa macam sistem brender tergantung pada sistem pengabutannya, yaitu sistem pengabut uap/udara dan sistem pengabut tekan. Pada sistem pengabut uap/udara caranya adalah uap/udara dipancarkan

melalui mulut pembakar (brender) dan akibat dari pancaran ini minyak akan terisap.

b. Pipa Evaporator

Pipa evaporator merupakan pipa-pipa yang berfungsi sebagai pipa penguapan yaitu merubah air menjadi uap, pipa evaporator terletak di sepanjang dinding ketel mengelilingi alat pembakar (*furnace*).

c. Ruang Bakar (*Furnace*)

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

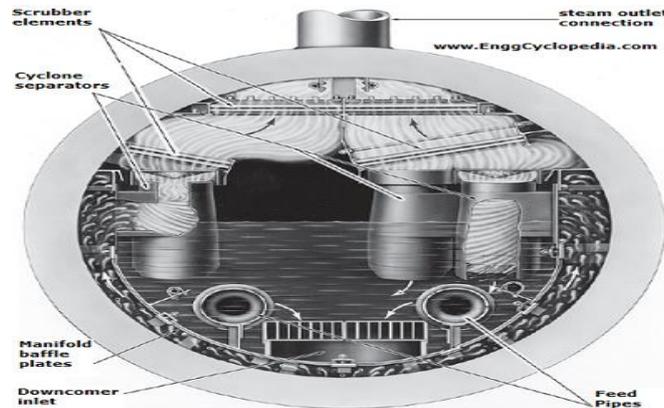


Gambar 2.5 Ruang Bakar

d. Upper Drum/Steam Drum

Upper Drum berfungsi untuk menampung air umpan yang berasal dari daerator kemudian mendistribusikannya ke pipa pipa pembangkit steam. selain itu, upperdrum juga berfungsi sebagai

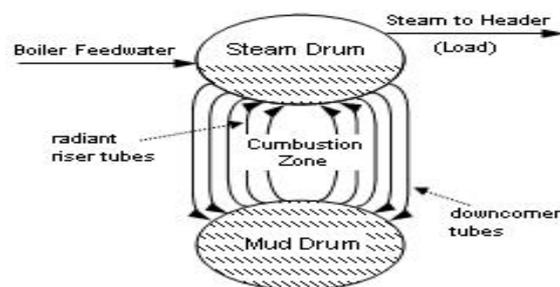
tempat untuk menampung uap hasil pemanasan untuk kemudian dipisahkan dari titik air agar uap tidak menjadi basah.



Gambar 2.6 *Steam Drum*

e. *Lower Drum/Mud Drum*

Lower drum berfungsi untuk menerima air dari upper drum yang didistribusikan melalui downcomer pipe, untuk selanjutnya dibagikan ke header feed water yang ada disamping kiri kanan boiler.

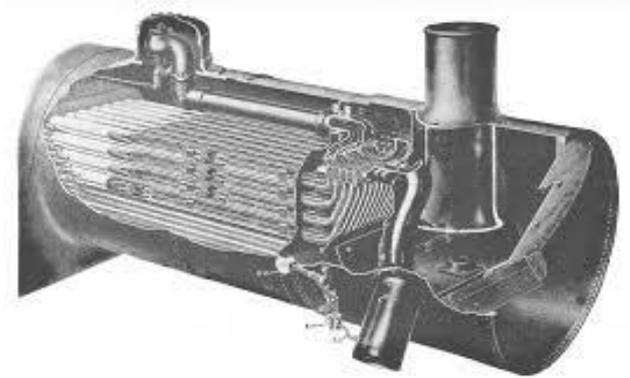


Gambar 2.7 *Mud Drum*

f. Pemanas Lanjut

Pemanas lanjut (*superheater*) adalah bagian-bagian ketel yang berfungsi sebagai pemanas uap, dari *saturated steam*

menjadi *superheated steam* yang berada pada boiler 1&2.



Gambar 2.8 *superheater*

g. Pemanas Udara

Pemanas udara (*air heater*) adalah alat pemanas udara penghembus bahan bakar. *Flue gas* yang masih memiliki panas yang tinggi dapat digunakan untuk memanaskan udara pembakaran didalam *air heater*.



Gambar 2.9 *Air Heater*

h. *Multicone Dust Collector / Air Lock*

Multicone Dust collector berfungsi untuk menangkap abu

yang terbawa gas panas agar tidak langsung terbang ke udara. terdiri dari susuna cone yang akan menangkap abu berdasarkan prinsip gaya sentrifugal dimana abu yang lebih berat akan jatuh ke bawah dan gas panas akan dibuang ke cerobong. abu yang ditangkap akan turun ke hopper.



Gambar 2.10 *Airlock*

2. Komponen bantu dalam sistem boiler adalah sebagai berikut:

a. Air Pengisi Ketel (*Boiler Feed Water*)

Air pengisi ketel didapatkan dari dua sumber yaitu: air sungai besar kuala indah dan *condensate*.



Gambar 2.11 *Feed water*

b. Deaerator

Deaerator merupakan pemanas air sebelum dipompa ke dalam ketel sebagai air pengisian. Media pemanas adalah *exhaust steam* pada tekanan 3 bar yang berada di BPV, sehingga didapatkan air pengisian ketel yang bersuhu 100°C-105°C. Fungsi utamanya adalah menghilangkan oksigen dan untuk menghindari terjadinya karat pada dinding ketel.



Gambar 2.12. Deaerator

c. *Boiler Feed Water Pump*

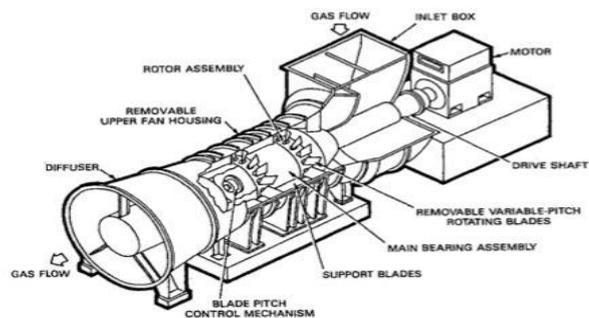
Berfungsi untuk melayani kebutuhan air pengisi ketel yang dijadikan uap, sampai dengan kapasitas ketel yang maksimum, sehingga ketel uap akan dapat bekerja dengan aman. Kapasitas pompa harus lebih tinggi dari kapasitas ketel, minimum 1,25 kali, tekanan pompa juga harus lebih tinggi dari tekanan kerja ketel, agar dapat *mensupply* air ke dalam ketel.



Gambar 2.13 *Feed water pump*

d. *Secondary Air Fan*

Secondary Air Fan (SAF) digunakan untuk membantu pembakaran pada ruang bakar dengan cara menghembuskan udara lewat pinggir depan dan belakang sehingga membentuk angin yang berputar di dalam ruang bakar. Spesifikasi *Secondary Air Fan*.



Gambar 2.14 *SAF*

Daya : 185 Kw 25 HP
 Arus : 36 A
 Putaran : 2915 rpm
 Frekuensi : 50 Hz
 Tegangan : 380 V

e. *Induced Draft Fan (I.D.F)*

Induced Draft Fan Berfungsi untuk memberikan tekanan negatif (*vacuum pressure*) pada boiler serta mentransfer flue gas sisa pembakaran dari boiler menuju ke stack/chimney. Semakin tinggi temperature udara flue gas dan prosentase oksigen yang keluar dari stack maka mengindikasikan bahwa proses pembakaran di dalam boiler tidak terjadi secara sempurna.



Gambar 2.15 IDF

f. *Forced Draft Fan (F.D.F)*

Forced Draft Fan (FDF) berfungsi untuk memberikan tekanan positif pada boiler dan mengontrol udara serta oksigen yang dibutuhkan pada proses pembakaran di dalam boiler sehingga diharapkan dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna dan efisien.

g. Cerobong Asap

Cerobong asap (*Chimney*) berfungsi untuk membuang udara sisa pembakaran.



Gambar 2.16 Chimney

h. Fuel Fedder Fan

Merupakan *blower* yang di gunakan untuk mendorong bahan bakar masuk ke ruang bakar. Spesifikasi *Fuel Fedder Fan* yaitu :

Daya	: 22kW
Arus	: 41 A
Putaran	: 2940 rad/menit
Tegangan	: 380 V
Frekuensi	: 50 Hz



Gambar 2.17 FFF

i. Steam Header

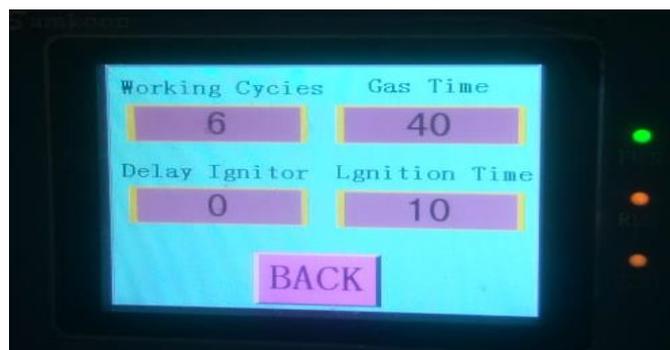
Berfungsi untuk mengumpulkan uap yang akan didistribusikan ke tiap titik yang memerlukan suplai uap.



Gambar 2.18. *Steam header*

j. Shockwave

Shockwave berfungsi untuk membersihkan kotoran atau abu dari flue gas yang menempel pada dinding-dinding economisator dengan cara menembakkan gas acetylene dengan tekanan tinggi.



Gambar 2.19. Panel *shockwave boiler 1 co-gen*

k. Soot Blower

Soot Blower berfungsi untuk membersihkan kotoran (debu,

jelaga dll) yang menempel pada permukaan pipa-pipa pemanas bagian luar. Untuk menjaga efisiensi Boiler, permukaan pipa-pipa pemanas tidak boleh kotor agar transfer panas dari pembakaran tidak terhalang oleh benda-benda yang menempel pada permukaan luar pipa-pipa pemanas.



Gambar 2.20. Pengatur *soot blow*

3. Alat pengaman boiler antara lain :

1. *Safety Valve*

Alat ini bekerja membuang uap pada tekanan yang telah di tentukan sesuai dengan penyetelan klep pada alat ini.



Gambar 2.21. *Safety valve*

2. Gelas Penduga (*Sight Glass*)

Gelas penduga adalah alat untuk melihat tinggi air di dalam drum atas, untuk memudahkan pengontrolan air dalam ketel waktu operasi. Gelas penduga ini dilengkapi dengan alat pengontrol air otomatis, bel akan berbunyi dan lampu merah akan menyala pada waktu kekurangan air.



Gambar 2.22. *Sight Glass*

3. *Blowdown Valve*

Keran *blowdown* (*Blow Down Valve*) berfungsi untuk membuang kotoran berupa lumpur atau endapan yang tidak terlarut (TDS) dari dalam ketel.



Gambar 2.23 Auto & manual *blowdown valve*

4. *Main Steam Valve*

Main Steam Valve berfungsi sebagai alat untuk membuka dan menutup aliran uap keluar ketel yang terpasang pada pipa induk, alat ini di buat dari bahan tahan panas dan tekanan tinggi.



Gambar 2.24. *Main steam valve*

5. *Valve Pemasukan Air*

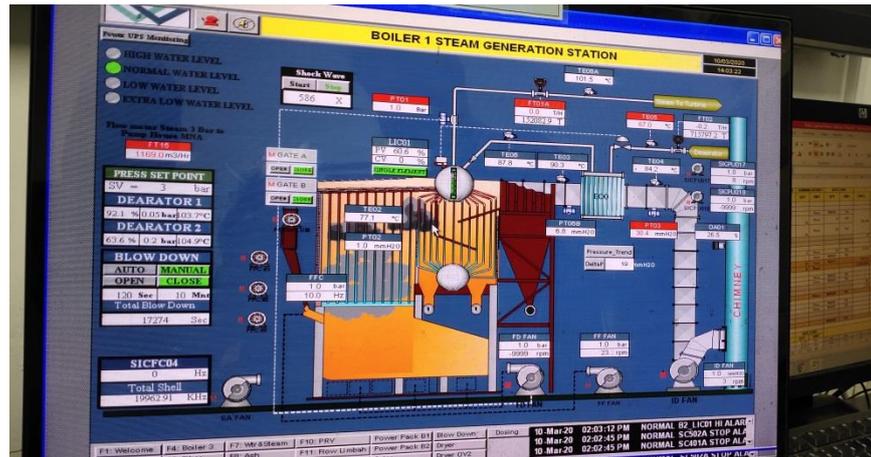
Keran Pemasukan Air terdiri dari 2 buah keran yaitu satu buah keran ulir dan satu buah lagi keran satu arah. Kedua alat ini terbuat dari bahan yang tahan panas dan tekanan tinggi.



Gambar 2.25. Valve pemasukan air

6. Main Panel

Panel utama (*Main Panel*) berfungsi sebagai pengontrol atau alat pengaman semua alat alat pada boiler.



Gambar 2.25. Control Panel

2.2.5 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.

- a. Bahan bakar padat

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.

- b. Bahan bakar cair

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.

- c. 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_4 (Methane). Seperti halnya dengan minyak bumi, gas alam tersebut diperoleh dengan jalan pengeboran dari dalam tanah,

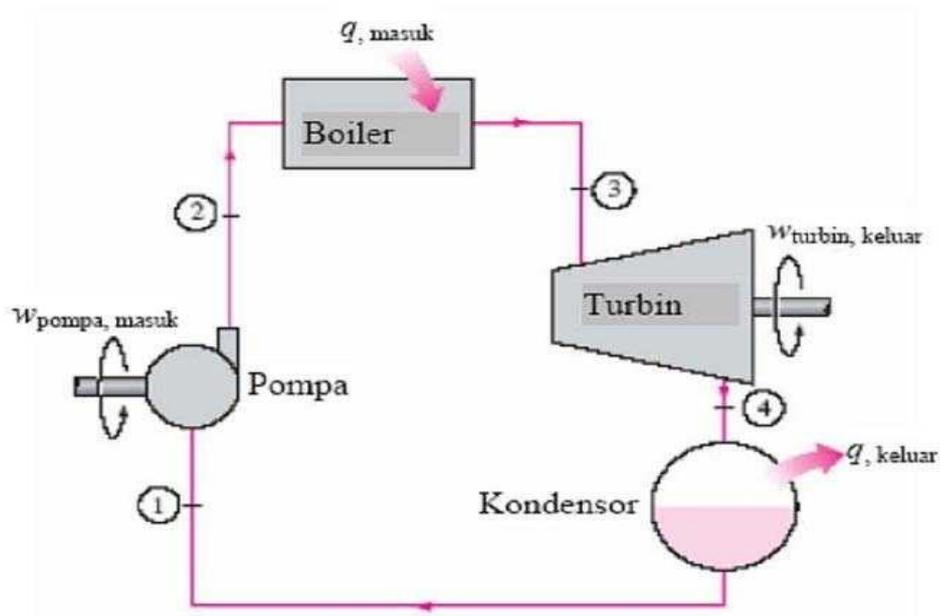
baik di daratan maupun pada lepas pantai terhadap lokasi- lokasi yang diduga terdapat kandungan gas alam.

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 EFB.

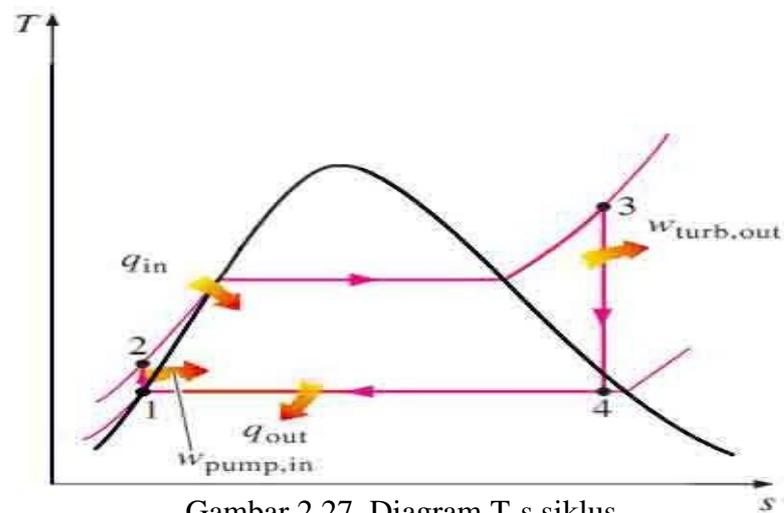
2.2.6 Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah siklus teoritis yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap. Siklus Rankine berbeda dengan siklus-siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi, oleh karena itu fluida kerja untuk siklus Rankine harus merupakan uap. Siklus Rankine ideal tidak melibatkan beberapa masalah irreversibilitas internal. Irreversibilitas internal dihasilkan dari gesekan fluida, throttling, dan pencampuran, yang paling penting adalah irreversibilitas dalam turbin dan pompa dan kerugian-kerugian tekanan dalam penukar-penukar panas, pipa-pipa, bengkokan-bengkokan, dan katup-katup. 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. Uap superheater pada kondisi ke 3 masuk ke turbin yang mana uap diexpansikan 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.

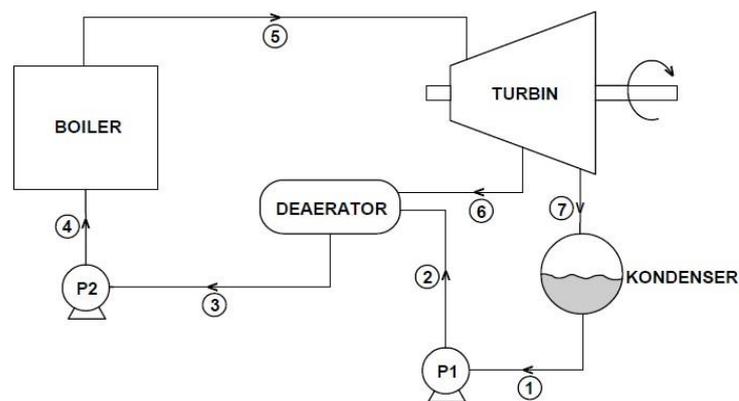


Gambar 2.26 siklus Rankine sederhana



Gambar 2.27. Diagram T-s siklus

Salah satu modifikasi dari siklus Rankine dapat dilihat pada gambar berikut :

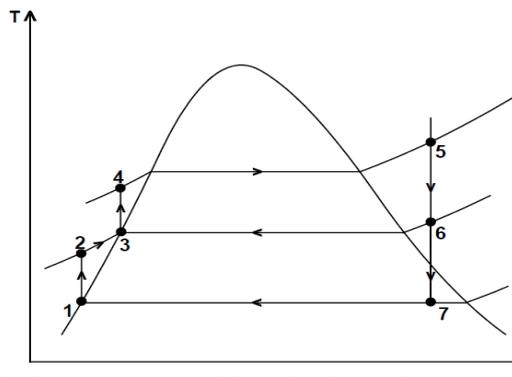


Gambar 2.28. Diagram alir siklus Rankine

Uap panas lanjut dari ketel memasuki turbin, setelah melalui beberapa tingkatan sudu turbin, sebagian uap diekstraksikan ke deaerator, sedangkan sisanya masuk ke kondensor dan dikondensasikan didalam kondensor. Selanjutnya air dari kondensor dipompakan ke deaerator juga. Di dalam deaerator, uap yang berasal dari turbin yang berupa uap basah bercampur dengan air yang berasal dari kondensor. Kemudian dari deaerator dipompakan kembali ke ketel, dari ketel ini air yang sudah menjadi uap kering dialirkan kembali lewat turbin.

Tujuan uap diekstraksikan ke deaerator adalah untuk membuang gas- gas yang tidak terkondensasi sehingga pemanasan pada ketel dapat berlangsung

efektif, mencegah korosi pada ketel, dan meningkatkan efisiensi siklus. Untuk mempermudah penganalisaan siklus termodinamika ini, proses- proses tersebut di atas disederhanakan dalam bentuk diagram berikut :



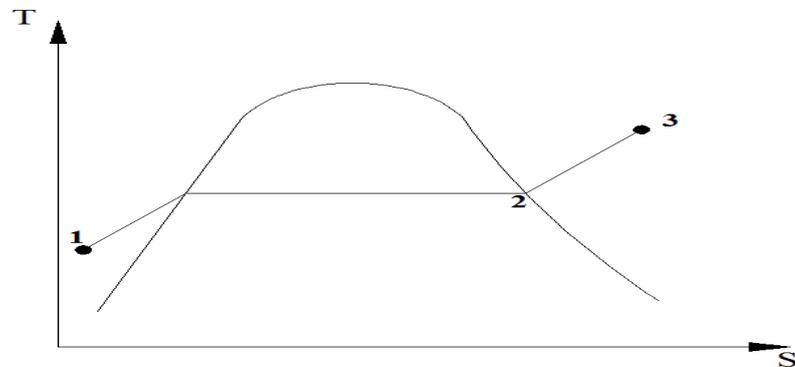
Gambar 2.29. Diagram T-s siklus Rankine dengan satu tingkat ekstraksi

2.2.7 Proses Pembentukan Uap

Sebagai fluida kerja di ketel uap, umumnya digunakan air (H_2O) karena bersifat ekonomis, mudah di peroleh, tersedia dalam jumlah yang banyak, serta mempunyai kandungan entalpi yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan fluida kerja yang lain.

Penguapan adalah proses terjadinya perubahan fasa dari cairan menjadi uap. Apabila panas diberikan pada air, maka suhu air akan naik. Naiknya suhu air akan meningkatkan kecepatan gerak molekul air. Jika panas terus bertambah secara perlahan-lahan, maka kecepatan gerak air akan semakin meningkat pula, hingga sampai pada suatu titik dimana molekul-molekul air akan mampu melepaskan diri dari lingkungannya (100°) pada tekanan $1[\text{kg}/\text{cm}^2]$, maka air secara berangsur-angsur akan berubah fasa menjadi uap dan hal inilah yang disebut sebagai penguapan.

Proses perubahan fasa air menjadi uap dapat dilihat pada gambar :



Gambar 2.29. Diagram T-S

Keterangan:

1-2 : Pipa-pipa evaporator pipa penguat

2-3 : Pipa-pipa superheater

1-3 : Ketel uap

2.2.8 Metode Pengkajian Efisiensi Boiler

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini adalah metode langsung. Secara umum tugas akhir 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. Adapun tahap-tahap untuk menghitung efisiensi boiler adalah sebagai berikut : (Muin,1998)

1. Pembakaran Bahan Bakar

Pembakaran terjadi secara proses kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara untuk menghasilkan energi panas yang dapat digunakan untuk keperluan

tertentu. Untuk melakukan pembakaran ada tiga unsur yang diperlukan yaitu bahan bakar, oksigen dari udara pembakaran dan suhu untuk memulai pembakaran. Hasil pembakaran yang Utama adalah karbondioksida (CO₂) uap air (H₂O) dan disertai energi panas. Hasil pembakaran yang lain adalah karbon monoksida (CO), abu (ash), NO_x, atau Sox tergantung pada jenis bahan bakarnya.

Reaksi pembakaran (Persamaan Reaksi Pembakaran)

a. Karbon (C)



1 mol C (12 kg) bereaksi dengan 1 mol O₂ (32 kg) menjadi 1 mol karbon

Dioksida (CO₂ = 44 kg), jadi jumlah oksigen yang dibutuhkan adalah

$$\text{Sebesar : } 32 / 12 = 2,67 \text{ kg O}_2$$

b. Hidrogen (H₂O)



2 mol H₂ (4 kg) bereaksi dengan 1 mol O₂ (32 kg) menjadi 2 mol air

(H₂O = 36 kg), jadi jumlah oksigen yang dibutuhkan adalah sebesar :

$$32 / 4 = 8 \text{ kg O}_2$$

c. Sulfur (S)



1 mol S (32,06 kg) bersenyawa dengan 1 mol O₂ (32 kg) memproduksi

1 mol sulfur dioksida (64,06 kg), jadi jumlah oksigen yang dibutuhkan

adalah sebesar : $32/32,06 = 0,998 \text{ kg O}_2$

2. Nilai kalor (Heating Value)

Nilai kalor merupakan energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Bahan bakar adalah zat kimia yang apabila direaksikan dengan oksigen (O₂) akan menghasilkan sejumlah kalor. Bahan bakar dapat berwujud gas, cair, maupun padat. Selain itu, bahan bakar merupakan suatu senyawa yang tersusun atas beberapa unsur seperti karbon (C), hidrogen (H), belerang (S), dan nitrogen (N).

Kualitas bahan bakar ditentukan oleh kemampuan bahan bakar untuk menghasilkan energi. Kemampuan bahan bakar untuk menghasilkan energi ini sangat ditentukan oleh nilai bahan bakar yang didefinisikan sebagai jumlah energi yang dihasilkan pada proses pembakaran per satuan massa atau persatuan volume bahan bakar.

Nilai pembakaran ditentukan oleh komposisi kandungan unsur di dalam bahan bakar. Dikenal dua jenis pembakaran (Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat Konversi Energi 1 (Ketel Uap) 1988:160), yaitu:

a. Nilai Kalor Pembakaran Tinggi

Nilai kalor pembakaran tinggi atau juga dikenal dengan istilah High Heating Value (HHV) adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan air dari proses pembakaran ikut diperhitungkan sebagai panas dari proses pembakaran. Dirumuskan dengan:

$$\text{HHV} = 33950 C + 144200 (\text{H}_2 - \text{O}_2/8) + 9400\text{S} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- C = % karbon dalam bahan bakar
- H₂ = % hidrogen dalam bahan bakar
- O₂ = % oksigen dalam bahan bakar
- S = % sulfur dalam bahan bakar

b. Nilai Kalor Pembakaran Rendah

Nilai kalor pembakaran rendah atau juga dikenal dengan istilah Low Heating Value (LHV) adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan uap air dari hasil pembakaran tidak ikut dihitung sebagai panas dari proses pembakaran.

Dirumuskan dengan:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400 (9\text{H}_2) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana : $H_2 = \%$ hidrogen dalam bahan bakar

2.2.9 Kebutuhan Bahan Bakar Dan Produksi Uap

Banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap dapat diperoleh dengan persamaan :

$$W_f = \frac{\text{Total pemakaian bahan bakar}}{\text{Waktu pemakaian ketel uap}} \dots\dots\dots(3)$$

Sedangkan untuk produksi uap dapat diperoleh dengan persamaan berikut

Ini: :

$$W_s = \frac{\text{Total kapasitas produksi uap}}{\text{Waktu pemakaian ketel uap}} \dots\dots\dots(4)$$

2.2.10 Perhitungan Efisiensi Boiler

Daya guna (efisiensi) boiler adalah perbandingan antara konsumsi panas dengan suplai panas (Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat konversi 1 (Ketel Uap) 1988:223).

Maka Untuk menghitung nilai efisiensi dari ketel uap dapat Digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{\text{Panas pembentukan uap}}{\text{Panas masuk}}$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{W_s \times h_3 - h_1}{W_f \times \text{LHV}}$$

Keterangan : W_s = kapasitas produksi uap (kg uap/jam)
 W_f = konsumsi bahan bakar (kg BB/jam)
 h_3 = entalpi uap (kJ/kg)
 h_1 = entalpi air umpan/pengisi ketel (kJ/kg)
LHV = nilai kalor pembakaran rendah (kJ/kg)