

**ANALISA KARAKTERISTIK FIBER DAN CANGKANG KELAPA
SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKAR PADA BOILER DI
PT PLB. 1 ASTRA ACEH SINGKIL**

SKRIPSI

*Skripsi Ini Diajukan Untuk Melengkapi
Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*



**AGUSTIAR MANIK
13.813.0030**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2019**

**ANALISA KARAKTERISTIK FIBER DAN CANGKANG KELAPA SAWIT
SEBAGAI BAHAN BAKAR PADA BOILER DI
PT PLB. 1 ASTRA ACEH SINGKIL**

SKRIPSI

Oleh

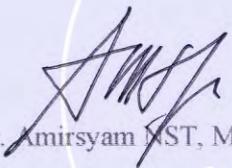
AGUSTIAR MANIK

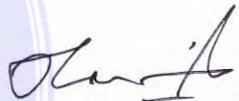
13 813 0030

Disetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Ir. Amirsyam NST, MT


Ir. Husin Ibrahim, MT

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik,

Ketua Prodi Teknik Mesin,

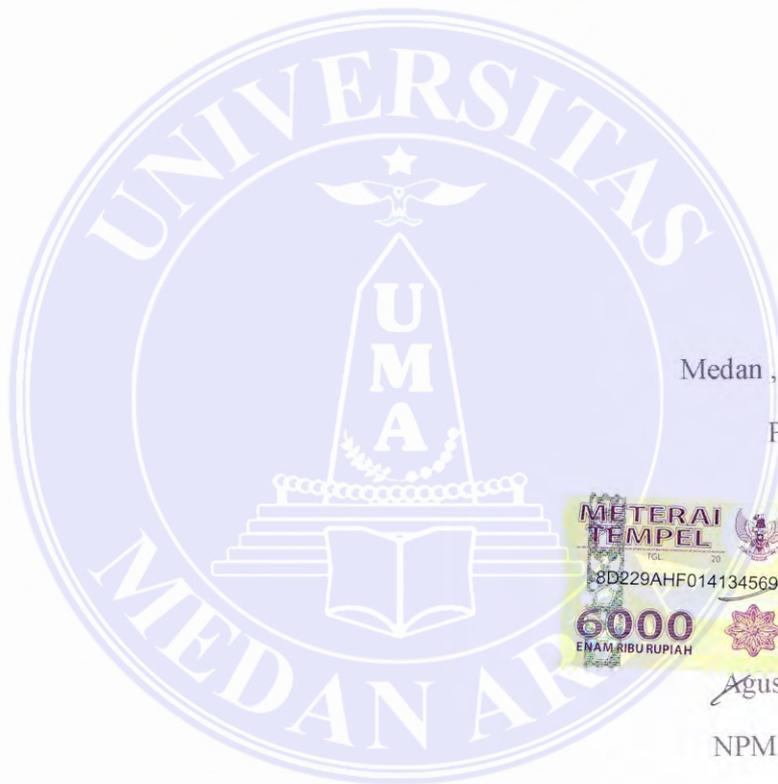

Dr. Faisal Amri Tanjung, S.St, MT.


Bobby Umroh, ST, MT

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



Medan, Oktober 2019

Penulis




Agus Ar Manik

NPM 138130030

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : AGUSTIAR MANIK
NPM : 13 813 0030
Program Studi : MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Eksklusif (Non-exclusive Royalty-free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul: "Analisa Karakteristik Fiber Dan Cangkang Sebagai Bahan Bakar Boiler di PT PLB. 1 ASTRA Aceh Singkil". Dengan hak bebas Royalty Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai hak pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 6 Januari 2019

Yang menyatakan



Agustiar Manik

ABSTRAK

Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi boiler adalah tekanan superheater dengan efisiensi boiler, produksi uap dengan efisiensi boiler, produksi uap, jumlah uap yang dihasilkan, bahan bakar dan nilai kalor hasil pembakaran. Penggunaan *software chemicallogic steamtab companion* untuk menghitung nilai entalpy tujuan penelitian ini adalah mendapatkan panas ruang bakar dengan ukuran tinggi 10 m lebar 8 m dengan efisiensi boiler hubungan suhu air umpan dengan hubungan variasi jumlah uap yang dihasilkan dengan menganalisa nilai kalor bahan bakar serabut 75% cangkang 25% dan menganalisa efisiensi water tube memperlihatkan bahwa perubahan nilai atau variasi enthalpy uap, tekanan superheater, suhu air umpan, dan jumlah produksi uap yang dihasilkan berpengaruh terhadap efisiensi boiler.

Hubungan variasi jumlah produksi uap yang dihasilkan sangat berpengaruh dengan efisiensi boiler itu sendiri, dimana semakin besar jumlah uap yang dihasilkan maka semakin besar juga efisiensi boiler yang dihasilkan.

Kata kunci: mendapatkan panas ruang bakar dan nilai kaloor bahan bakar

Some factors that influence boiler efficiency are superheater pressure with boiler efficiency, steam production with boiler efficiency, steam production, amount of steam produced, fuel and combustion heating values. The use of *chemicallogic steamtab companion* software to calculate enthalpy value of the purpose of this study is to get the heat of the combustion chamber with a height of 10 m width 8 m with boiler efficiency relationship feed water temperature with a variation of the amount of steam produced by analyzing the heating value of 75% fiber shell shell % and analyzing the water tube efficiency shows that changes in the value or variation of steam enthalpy, superheater pressure, feed water temperature, and the amount of steam production produced affect the boiler efficiency.

The relationship of variation in the amount of steam produced is very influential to the efficiency of the boiler itself, where the greater the amount of steam produced, the greater the efficiency of the boiler produced.

Keywords: get the heat of the combustion chamber and the calorific value of the fuel

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmad dan karunia Nya sehingga skripsi ini dapat penulis selesaikan. Dengan Tema yang dipilih adalah Analisa Ruang Bakar Boiler Dan Karakteristik Serabut Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pada Boiler Di PT. PLB 1 Astra Aceh Singkil.

Terwujudnya penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah mendorong dan membimbing penulis, baik tenaga, maupun pemikiran. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Yth. Bapak Bobby Umroh, ST.MT selaku Ketua Program Studi Universitas Medan Area yang telah menyetujui dan menerima skripsi penulis.
2. Yth. Bapak Ir. H. Amirsyam Nasution, MT dan Bapak Ir. Husin Ibrahim MT selaku Dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu selama proses pengajuan judul sampai dengan selesainya pembuatan skripsi ini.
3. Saya ucapkan terimakasih kepada ayah dan ibu saya yang telah memberi semangat sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Terimakasih saya ucapkan kepada Fakhdila Wati S.Pd yang telah mendampingi saya dalam penyelesaian skripsi dari awal sampe akhir.
5. Terimakasih juga saya ucapkan kepada seluruh keluarga dan teman-teman seperjuangan atas segala doa dan perhatiannya.

Semoga skripsi ini bermanfaat untuk saya umum nya untuk kita semua.

Medan, 26 Oktober 2018
Penulis

Agustiar Manik

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Sejarah Boiler	5
2.2 Definisi Ketel Uap.	8
2.3 Klasifikasi Ketel Uap.	9
2.3.1 Fire Tube.....	9
2.3.2 Water Tube.....	10
2.4 Sistem Kontrol Level Air Pada Steam Drum.....	10
2.4.1 Steam Drum.....	12
2.4.2 Cyclon Esparator.....	13
2.4.3 Sirkulasi Air Masuk Kedalam Pipa.....	13
2.4.4 Steam Turbine Feed Pump.....	14
2.4.5 Uap Kering (<i>Superheater Steam</i>).....	15
2.4.6 Superheater.....	15
2.4.7 Air Heater	17
2.4.8 Safety Valve (Katup Pengaman).....	17
2.4.9 Gelas Penduga (<i>Sight Glass</i>).....	18
2.4.10 Pembuangan Air Ketel.....	18
2.5 Dapur dan Ruang Pembakaran (<i>Furnace</i>).....	18
2.5.1 Dust Collector (Pengumpul Abu).....	20
2.5.2 Pengatur Pembuangan Gas Bekas.....	20
2.5.3 Cerobong Asap.....	21

2.6 Bahan Bakar Boiler.....	23
2.6.1 Komposisi Bahan Bakar Cangkang dan Fiber.	24
2.6.2 Cangkang Sawit	25
2.6.3 Serabut Kelapa Sawit	25
2.6.4 Karakter Bahan Bakar.....	26
2.6.3 Kandungan Bahan Bakar.....	26
2.7 Siklus <i>Rankine</i>	27
2.8 Proses Pembentukan Uap	29
2.9 Metode Pengkajian Efisiensi Boiler.....	30
2.10 Nilai Kalor (<i>Heating Value</i>).....	34
2.11 Kebutuhan Udara Pembakaran.....	35
2.12 Gas Asap.	35
2.13 Volume Gas Asap.	36
2.14 Perhitungan Efisiensi Boiler.....	37

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian.....	38
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	38
3.2.1 Tempat Penelitian.....	38
3.2.2 Waktu Penelitian	38
3.3 Alat dan Bahan.....	39
3.1.3 Alat Yang Digunakan Dalam Pengujian.....	39
3.4 Data Spesifikasi Boiler.....	42
3.5 Data Dari Stasiun Boiler.	42
3.6 Data Hasil Percobaan Bom Kalorimeter	45
3.6.1 Analisa dan Karakter Bahan Bakar	46
3.6.2 Analisa Kandungan Bahan Bakar	46
3.7 Variabel Penelitian	47
3.7.1 Variabel Bebas	47
3.7.2 Variabel Terkait.....	48
3.8 Prosedur Penelitian.....	48

3.8.1 Penyusunan Alat Penelitian.....	48
3.8.2 Tahapan Penelitian	48
3.9 Diagram Alir Penelitian	50

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAKARAN

4.1 Nilai Kalor Bahan Bakar	52
4.1.1 Cangkang Kelapa Sawit Murni	52
4.1.2 Serabut Kelapa Sawit	55
4.1.3 Serabut 75% Cangkang 25%.....	58
4.2 Analisa Ruang Bakar Boiler.....	62
4.3 Kebutuhan Bahan Bakar.....	64
4.4 Perhitungan Gas Asap	64
4.5 Volume Gas Asap.....	66
4.6 Perhitungan Efisiensi Boiler.....	67
4.7 Analisa Efisiensi Boiler Saat Baru Beroperasi.....	68
4.7.1 Analisa Efisiensi Ketel Uap Data 1	70
4.7.2 Analisa Efisiensi Ketel Uap Data 2	71
4.7.3 Analisa Efisiensi Ketel Uap Data 3	73
4.7.4 Analisa Efisiensi Ketel Uap Data 4	74
4.7.5 Analisa Efisiensi Ketel Uap Data 5	76

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran.....	84

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ketel Pipa Air Dengan Pipa Jatuh dan Pipa Naik	8
Gambar 2.2 Ketel Pipa Air.....	10
Gambar 2.3 Steam Turbin.....	14
Gambar 2.4 Superheater.....	15
Gambar 2.5 Prinsip Kerja Superheater.....	16
Gambar 2.6 Safety Valve (Katup Pengaman).....	17
Gambar 2.7 Gelas Penduga.....	18
Gambar 2.8 Ruang Bakar.....	19
Gambar 2.9 Pengatur Pembuangan Gas Bekas.....	21
Gambar 2.10 Cerobong Asap.....	21
Gambar 2.11 (Cangkang) Kelapa Sawit.....	25
Gambar 2.12 Serabut (Fiber) Kelapa Sawit.....	26
Gambar 2.13 Diagram Alir Siklus Rankine Sederhana	28
Gambar 2.14 Diagram T-s Siklus Rankine Sederhana.....	28
Gambar 2.15 Diagram Alir Siklus Rankine Dengan Satu Tingkat Ekstraksi	29
Gambar 3.1 Katup Pengaman (Safety Valve).....	39
Gambar 3.2 Gelas Penduga.....	40
Gambar 3.3 Katup Suply Air	40
Gambar 3.4 Pengukur Tekanan.....	41



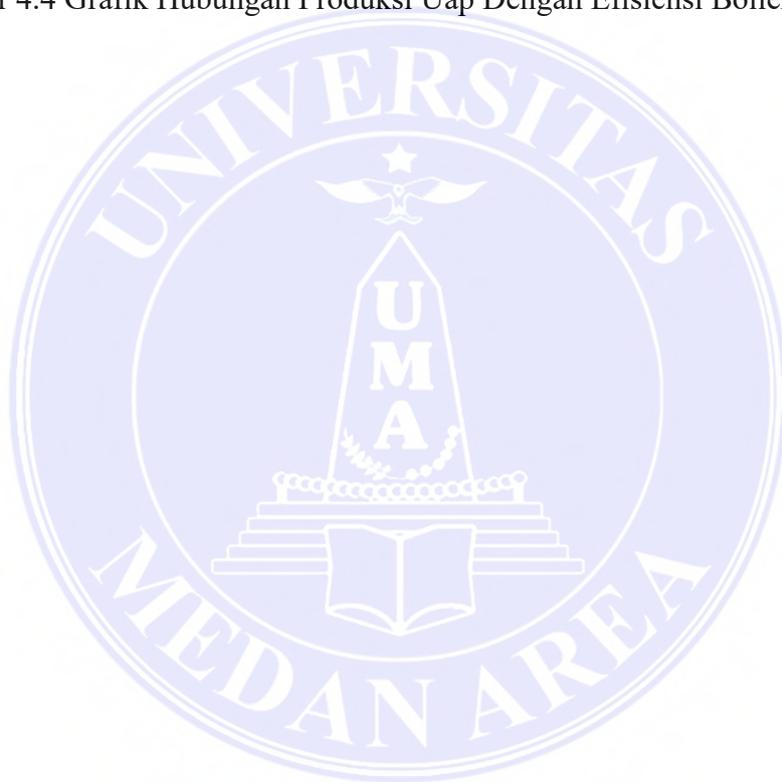
TABEL DATA

Tabel 2.1 Komposisi Dari Unsur-Unsur Kimia Bahan Bakar.....	24
Table 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	38
Tabel 3.2 Spesifikasi Boiler	42
Tabel 3.3 Data Senin 6 Agustus 2018.....	43
Tabel 3.4 Data Selasa 7 Agustus 2018.....	43
Tabel 3.5 Rabu 8 Agustus 2018	44
Tabel 3.6 Serabut 75% Cangkang 25%	45
Tabel 3.7 Cangkang Kelapa Sawit Murni.....	45
Tabel 3.8 Serabut Kelapa Sawit.....	45
Tabel 3.9 Komposisi Dari Unsur-Unsur Kimia Bahan Bakar.....	46
Tabel 4.1 Hasil Analisa Kalor Cangkang Kelapa Sawit Murni	55
Tabel 4.2 Hasil Analisa Kalor Serabut Kelapa Sawit Murni	58
Tabel 4.3 Cangkang 25% Fiber 75%	61
Tabel 4.4 Hubungan Antara Tekanan Superheater Dengan Steam Flow (Ton Uap/Jam)	78
Tabel 4.5 Hubungan Antara Enthalpy Dengan Efisiensi Boiler	79
Tabel 4.6 Hubungan Tekanan Superheater Dengan Efisiensi Boiler.....	80
Tabel 4.7 Hubungan Antara Produksi Uap Dengan Efisiensi Boiler.....	81



GAMBAR GRAFIK

Gambar 4.1 Grafik Hubungan Tekanan Superheater Dengan Uap Yang Dihasilkan Pada Kondisi Suhu Dearator Yang Sama Dan Suhu Superheater Yang Sama.....	78
Gambar 4.2 Grafik hubungan enthalpy uap dengan efisiensi boiler	79
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Tekanan Superheater Dengan Efisiensi Boiler	80
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Produksi Uap Dengan Efisiensi Boiler	81



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan semakin berkurangnya persediaan minyak dan energi dunia mengakibatkan terjadinya gejolak harga yang kurang setabil, kemudian fenomena tersebut turut berpengaruh di dalam Negeri ini hingga menimbulkan keresahan konsumen bahkan situasinya menjadi delematis bagi kalangan industri. Menghadapi situasi dan kondisi ini akhirnya Pemerintah mengeluarkan himbauan untuk penghematan Energi dan Bahan Bakar Minyak (BBM).

Karena Energi dengan volume yang besar maka kalangan industri berupaya mengurangi, bahkan sedapat mungkin bisa terbebaskan dari kendala dan ketergantungan pada bahan bakar konvensional. Terlebih lagi bagi kalangan industri-industri yang memiliki mesin Ketel Uap, dimana dalam proses produksinya sangat membutuhkan energi panas, khususnya pabrik Crude Palm Oil (CPO) Minyak Sawit dan Palm Kernel Oil (PKO) Minyak Inti Sawit. Selain itu kalangan industri pengolahan minyak sawit (CPO) juga menghadapi permasalahan yang baru lagi, baik bersifat Teknis dan Non Teknis, permasalahan tersebut adalah:

- a. Mencari bahan bakar alternatif yang lebih aman dan sesuai dengan kebutuhan.
- b. Menemukan atau mendapatkan teknologi untuk memodifikasi ketel uap, agar ketel uap yang telah ada masih dapat digunakan.
- c. Banyaknya limbah serabut sisa dari pengolahan kelapa sawit, sehingga jika tidak dimanfaatkan limbah tersebut akan menimbulkan permasalahan juga.

Hal-hal inilah yang memicu beberapa industri untuk beralih penggunaan bahan bakarnya, yang semula menggunakan bahan bakar konvensional mengganti dengan bahan bakar Alternatif. Pada industri pengolahan sawit limbah padat, seperti Cangkang sawit dan Serabut sawit digunakan sebagai bahan bakar padat. Oleh karena itu kelapa sawit merupakan salah satu komoditi hasil perkebunan yang menjadi andalan Indonesia saat ini untuk mendatangkan

devisa negara. Salah satu provinsi yang menyumbang hasil perkebunan kelapa sawit terbesar yaitu dengan luas areal lahan mencapai 1.290.977 ha dengan jumlah produksi 3.996.465 ton (Statistik Kelapa Sawit Indonesia, 2005-2009). Sejalan dengan semakin meningkatnya produksi kelapa sawit dari tahun ke tahun, maka akan terjadi pula peningkatan volume limbahnya, baik berupa limbah padat maupun limbah cair.

Hal ini lah yang memicu, kebutuhan energi semakin besar dalam industri yang melibatkan proses pemanasan dan perebusan.

Boiler merupakan pilihan yang menguntungkan untuk memenuhi tujuan ini. Untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin meningkat sementara cadangan bahan bakar yang semakin hari semakin menipis serta tuntutan keamanan yang tinggi bagi manusia dan lingkungan, maka dilakukan suatu perencanaan boiler dengan efisiensi yang tinggi. Ruang bakar dalam boiler memegang peranan yang sangat penting dalam melakukan pembakaran untuk menghasilkan energi panas yang digunakan untuk merebus air di dalam pipa.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang, penulis mencoba merumuskan masalah yang akan dicari pemecahannya baik dari teori-teori yang telah ada maupun dengan analisa-analisa yang akan dilakukan. Rumusan masalah di dapatkan sebagai berikut :

1. Menghitung panas ruang bakar boiler pada saat operasi
2. Menghitung nilai kalor yang di hasilkan limbah kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler
3. Pencampuran bahan bakar pada boiler pipa air dengan menggunakan limbah sawit
4. Menghitung efisiensi ruang bakar

1.3 Batasan Masalah

Hal-hal yang membatasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik pembakaran dengan bahan bakar limbah kelapa sawit
2. Temperatur yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar limbah sawit
3. Untuk mengetahui efisiensi panas ruang bakar ketel uap

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui proses pembakaran pada ruang bakar
2. Mengetahui jumlah kebutuhan bahan bakar
3. Menentukan efisiensi ketel uap

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang akan di dapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menambah wawasan dan pengetahuan bagi pembaca khususnya mahasiswa bagaimana cara kerja sistem ketel uap yang digunakan pada pabrik kelapa sawit.
2. Mengoptimalkan bahan bakar terhadap ruang bakar agar mencapai nilai efisiensi yang tinggi.
3. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi sumbangan pemikiran bagi ilmu pengetahuan serta dapat memberi informasi kepada masyarakat khususnya kepada industri yang memanfaatkan energi dari Ketel Uap.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sejarah Perkembangan Boiler

James watt, orang skotlandia yang sering dihubungkan dengan penemuan mesin uap adalah tokoh kunci Revolusi Industri. Sebenarnya James Watt bukanlah orang pertama yang membikin mesin uap. Rancangan serupa disusun pula oleh Hero dari Iskandariah pada awal tahun Masehi. Di Tahun 1686 Thomas Savery membikin paten sebuah mesin uap yang digunakan untuk memompa air. Di Tahun 1712 Orang inggris yang bernama Thomas Newcomen Membikin pula paten barang serupa Dengan Persi Yang Lebih Sempurna, namun mesin ciptaan Newcomen masih bermutu rendah dan kurang efisien, hanya bisa digunakan untuk pompa air tambang batubara.

Watt menjadi tertarik dengan ihwal mesin Uap di tahun 1764 tatkala dia sedang membetulkan Mesin ciptaan Newcomen. Meskipun Watt Cuma proleh Pendidikan setahun sebagai tukang pembuat perkakas, tetapi dia punya bakat pencipta yang besar.

Penyempurnaan-penyempurnaan yang dilakukannya terhadap mesin binaan Newcomen begitu penting, sehingga layaklah James Wattlah pencipta pertama mesin uap yang peraktis. Keberhasilan Watt pertama yang di patenkan nya di tahun 1769 adalah penambahan ruang terpisah yang di perkokoh, dia juga membikin isolasi pemisah untuk mencegah hilangnya panas pada selinder uap, dan di tahun 1782 dia menemukan mesin ganda dengan empat kali lipat atau lebih. Dalam peraktek peningkatan efisiensi ini memang merupakan hasil dari suatu kecerdasan namun tidaklah begitu merupakan peralatan yang bermamfaat dan mempunyai kegunaan yang luar biasa di pabrik industri.

Watt juga menemukan (di tahun 1781) Seperangkat gerigi untuk mengubah gerak bailik mesin sehingga menjadi gerak berputar. Alat ini meningkatkan secara besar-besaran penggunaan mesin uap. Watt juga berhasil menciptakan pengontrol gaya gerak melingkar

otomatis (tahun 1788), yang menyebabkan kecepatan mesin dapat secara otomatis diawasi. Juga menciptakan alat pengukur bertekanan (tahun 1790), alat penghitung kecepatan, alat petunjuk dan alat pengontrol uap sebagai tambahan perbaikan lain–lain peralatan.

Watt sendiri tidak punya bakat bisnis. Tetapi, di tahun 1775 dia melakukan persekutuan dengan Matthew Boulton, seorang insinyur, dan seorang pengusaha yang cekatan. Selama dua puluh lima tahun sesudah itu, perusahaan Watt dan Boulton memproduksi sejumlah besar mesin uap dan keduanya menjadi kaya raya.

Mesin uap bekerja ganda penemuan Watt pada tahun 1769 banyak penemuan–penemuan lain yang memegang peranan penting mendorong berkembangnya Revolusi Industri. Misalnya perkembangan dunia tambang, metalurgi, dan macam–macam peralatan mesin. Sekoci yang meluncur bolak– balik dalam mesin tenun (penemuan John Kay tahun 1733), atau alat pintal (penemuan James Hargreaves tahun 1764) semuanya terjadi mendahului kreasi Watt. Sebagian terbesar dari penemuan–penemuan itu hanyalah merupakan penyempurnaan yang kurang berarti dan tak satupun punya arti vital dalam kaitan dengan bermulanya Revolusi Industri.

Lain halnya dengan penemuan mesin uap yang memainkan peranan penting dalam Revolusi Industri, yang tampaknya keadaan akan mengalami bentuk lain. Sebelumnya, meskipun tenaga uap digunakan untuk kincir angin dan putaran air, sumber pokok tenaga mesin terletak pada tenaga manusia. Faktor ini amat membatasi kapasitas produksi industri. Berkat penemuan mesin uap, keterbatasan ini tersingkirkan. Sejumlah besar energi kini dapat disalurkan untuk hal–hal yang produktif yang menanjak dengan teramat derasnya. Embargo minyak tahun 1973 membuat kita sadar betapa sengsarnya jika bahan energi berkurang dan mampu melumpuhkan industri. Pengalaman ini, pada tingkat tertentu, mendorong kita membayangkan arti penting Revolusi Industri berkat penemuan James Watt.

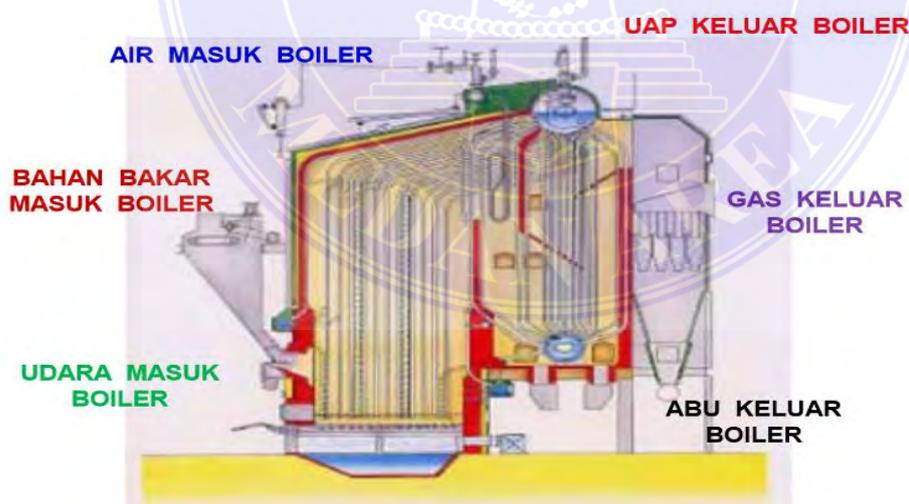
Di samping manfaat tenaga untuk pabrik, mesin uap juga punya guna besar di bidang–bidang lain. Di tahun 1783, Marquis de Jouffroy di Abbans berhasil menggunakan mesin uap

untuk penggerak kapal. Di tahun 1804, Richard Trevithick menciptakan lokomotif uap pertama. Tak satupun dari model-model pemula itu berhasil secara komersial. Dalam tempo beberapa puluh tahun, barulah baik kapal maupun kereta api menghasilkan revolusi baik dibidang pengangkutan darat maupun laut.

Revolusi Industri berlangsung hampir bersamaan dengan Revolusi Amerika maupun Perancis. Meskipun waktu itu tampaknya sepele, kini tampak jelas betapa Revolusi Industri seakan digariskan mempunyai makna jauh lebih penting untuk peri kehidupan manusia ketimbang arti penting revolusi politik. James Watt, oleh sebab itu tergolong Salah seorang yang punya pengaruh penting dalam sejarah.

2.2 Dfinisi Ketel Uap

Ketel uap adalah sebuah bejana untuk menghasilkan uap dimana kedalam bejana (Alat) tersebut dimasukan air dan kemudian diberikan panas sehingga air tersebut berubah menjadi uap.



Gambar 2.1 Ketel Pipa Air Dengan Pipa Jatuh dan Pipa Naik

Ketel uap sebagai alat pembangkit uap dimana, uap ini dinyatakan dengan entalpi kalor (panas) yang diperoleh adalah proses pembakaran bahan bakar yang mana kalor dipindahkan dan bahan bakar yang dibakar melalui api dan gas asap yang memanasi pipa-pipa ataupun

dinding-dinding pemanas sehingga panas tersebut akan diserap oleh air yang dijadikan uap, dimana uap yang terjadi akan digunakan sesuai dengan keperluannya. Keperluan uap sebagai tenaga penggerak mulai digunakan pada tahun 1970, oleh seorang bangsa Inggris yang bernama James Watt. Dialah mula-mula yang membuat instalasi uap yang terdiri dari ketel uap dan mesin uap dimana ketel uap berfungsi sebagai alat untuk membentuk seperti yang dijelaskan diatas, kemudian uap yang dihasilkan tersebut akan dimasukkan kedalam mesin uap, tenaga yang terkandung uap tersebut akan dirubah menjadi tenaga bergerak di dalam mesin uap, pada susunan pipa-pipa air kecepatan relatif dari peredaran ternyata akan maksimum bila disusun staf depan dan staf belakang yang terlihat pada gambar yang memperlihatkan arah peredaran dari air/uap dan gas pembakaran. Diantara kedua pipa ini terjadi perbedaan berat spesifik yang lebih besar kedudukan pipa-pipa yang bekerja sebagai pipa jatuh dan pipa naik berada dalam kumpulan pipa jatuh atau pipa naik yang semuanya ini tergantung pada besarnya panas dan dapur. Jadi ternyata proporsi dan pipa jatuh ke pipa naik ini berubah-ubah ini tergantung pada produksi uap dan ketelnya.

2.3 Klasifikasi Ketel Uap

Boiler merupakan peralatan yang berfungsi untuk memanaskan fluida dari keadaan cair hingga menjadi campuran maupun uap lanjut dengan menggunakan metode External Combustion (pembakaran luar). Boiler yang sering digunakan adalah steam boiler (ketel uap), yang sering digunakan dalam pembangkit, namun boiler sendiri dapat di klasifikasikan menjadi beberapa kategori berikut ini akan dijelaskan lebih detail terkait klasifikasi boiler.

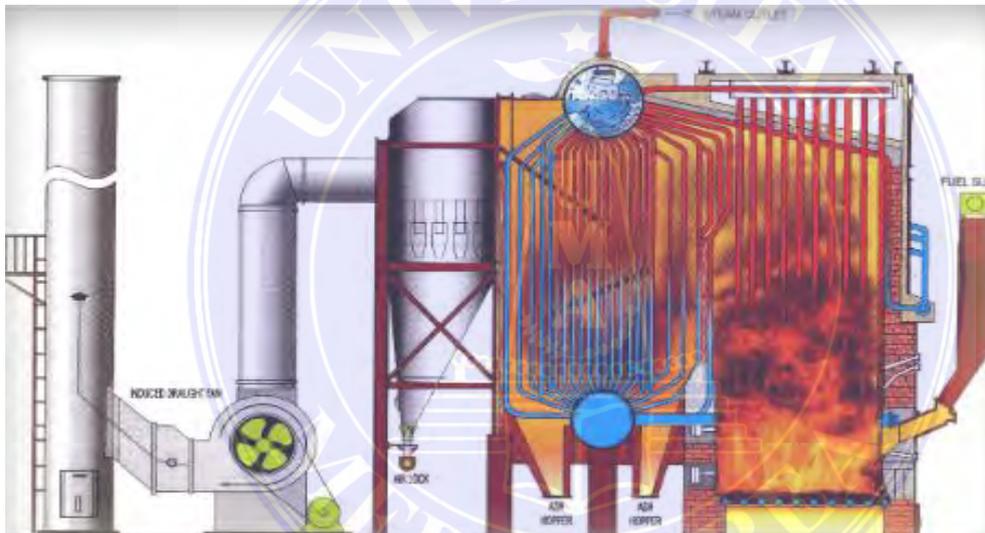
2.3.1 Fire Tube

Fire tube boiler adalah boiler yang proses pembuatan uapnya terjadi dengan cara memanaskan air yang ada di dalam tabung/bak air dengan gas panas yang digunakan berasal dari pembakaran bahan bakar padat cair atau gas yang di alirkan ke dalam pipa yang ada di dalam bak air. Proses terbentuknya uap terjadi pada dinding luar pipa-pipa yang didalamnya

mengalir gas panas/fire tube. Uap yang terbentuk akan dikumpulkan pada syeam dome. Jika uap panas tersebut akan digunakan dalam bentuk uap kering/super heater, maka uap tersebut dapat di panaskan kembali dalam pipa superheater menjadi uap panas lanjut(super heated steam).

2.3.2 Water Tube

Water tube boiler mempunyai proses berbanding terbalik dengan Fire Tube boiler, dimana air yang dialirkan dalam tube sedangkan proses pembakaran berada diluar tube (shell). Boiler ini dapat berupa tipe tunggal atau ganda pada boiler inis tekanan yang terjadi pada uap relatif tinggi sehingga sering dimanfaatkan dalam pembangkit.



Gambar 2.2 Ketel Pipa Air

2.4 Sistem Kontrol Level Air Pada Steam Drum

Pada boiler air yang dipanaskan oleh boiler agar menjadi uap, akan melewati steam drum. Air di dalam steam drum dipompa menuju wall tube yang letaknya berjajar secara rapat dan di desain menjadi dinding furnace, yaitu tempat terjadinya proses pembakaran bahan bakar. Pada pipa-pipa inilah air berubah fase menjadi uap dan kembali menuju steam drum, selanjutnya air dan uap akan dipisahkan oleh steam drum, yang masih berfase air akan dipompa kembali ke wall tube sedangkan yang sudah berfase uap akan menuju pipa-pipa

superheater dan menjadi suplay untuk turbin uap. Air pada boiler juga berfungsi sebagai media pendingin pada papa-pipanya terutama pula disisi wall tube yang secara langsung menjadi dinding furnace, tempat proses pembakaran. Untuk itulah level air pada steam drum menjadi parameter yang sangat dijaga untuk memastikan tetap ada media pendingin bagi pipa-pipa boiler. Parameter yang berhubungan dengan level air pada steam drum yaitu debit aliran uap superheater (main steam), sebagai produk dari boiler serta debit aliran feed water yang masuk ke boiler. Dua prameter lain tersebut mempengaruhi kondisi level air pada steam drum, dan digunakanlah sebuah sistem kontrol untuk menjaga level air steam drum.

Ada tiga cara yang digunakan oleh sistem kontrol tersebut yaitu single element, two element, dan three element control berkaitan dengan parameter-parameter yang saya sebutkan di atas.

a. Single Element Control

Pada sisitem kontrol single element digunakan sensor level air pada steam drum dan menjadi sinyal input untuk sistem kontrol tersebut sebagai outputnya, sistem konterol mengeluarkan sistem perintah sinyal kepada valve kontrol supply feed water untuk berada pada posisi bukaan tertentu sehingga level air dalam steam drum tetap terjaga pada level set pointnya.

b. Two Element Control

Pada sitem kontrol ini digunakan pula sinyal input berupa debit aliran steam/uap superheater, selain sinyal input dari level steam drum dua sinyal invut tersebut dijumlahkan diproses oleh sistem kontrol untuk mengatur valve control feed water.

Pada sistem feed water diharapkan dapat mensupply debit feed water yang sesuai dengan kebutuhan untuk menjaga level steam drum.namun jika supply feed water tidak sesuai maka level steam akan berada diluar set poin. Setelah terjadi perubahan steam drum tersebut,

baru sistem kontrol akan merespons dan valve supply feed water akan diatur lagi karena sistem kontrol two element ini memiliki kelemahan muncullah alternatif three element control.

c. Three Element Control

Sistem kontrol ini menggunakan parameter level steam drum debit aliran steam, dan aliran feed water sebagai sinyal inputan untuk sistem kontrol. Sehingga diharapkan level air pada steam drum dapat dijaga untuk tetap berada pada set point-nya sekalipun terjadi perubahan beban yang signifikan. Secara umum boiler-boiler pembangkit listrik menggunakan sistem single element control digunakan pada saat unit pembangkit start up dan shut down saja. Sedangkan pada saat operasi normal menggunakan three element control karena produksi air yang fluktuatif tergantung oleh kebutuhan beban.

2.4.1 Steam Drum

Steam drum boiler berfungsi sebagai reservoir campuran uap air, dan juga berfungsi untuk memisahkan uap air. Proses pembentukan uap superheater steam drum memiliki beberapa saluran masuk dan dua saluran keluar. Air yang masuk ke dalam steam drum memiliki fase campuran antara uap air dan cair di dalam steam drum terdapat cyclone separator, bagian ini berfungsi untuk memisahkan antara uap air saturated dengan air. Uap air akan keluar melalui pipa sebelah atas steam drum dan menuju ke boiler untuk dipanaskan lebih lanjut menjadi uap kering. Sedangkan yang masih berfase cair akan menuju ke raiser tube untuk dipanaskan sehingga berubah fase menjadi uap.

2.4.2 Cyclon Esparator

Cyclon esparator menjadi bagian paling utama dalam steam drum. Di dalam cyclone separator terdapat semacam cakram miring yang dapat berputar terhadap porosnya. Campuran uap air dan air bertekanan terdorong masuk ke dalam sehingga menyebabkan cakram ini berputar. Efek putaran dan benturan antara fluida dengan cakram tersebut secara alami akan memisahkan air dengan uap saturated, sehingga air akan jatuh ke bawah sedangkan uap air

akan naik ke atas. Di bagian atas keluaran steam drum, terdapat plat-plat miring yang disebut eliminator /scrubber plat ini juga berfungsi untuk memisahkan air dengan uap sehingga hanya uap saja yang dapat melewati scrubber tersebut.

2.4.3 Sirkulasi Air Masuk Kedalam Pipa

Bagian bawah yang paling ujung pipa dihubungkan dengan pipa pengumpul (collector pipa), sedangkan pipa bagian atas menyambung dengan drum ketel uap. Pada bagian belakang pipa konveksi susunan pipa antara drum atas dengan drum bawah tersusun beberapa pipa seperti sebuah sisir yang tersusun rapi. Dengan bentuk dan konstruksi pipa tersebut boiler ini termasuk bersirkulasi alam. Terjadinya pemanasan di dalam ruang dapur tadi membuat penguapan dalam pipa-pipa yang tersusun di dalam dapur menjadi gelembung-gelembung uap naik keatas menuju boiler drum. Oleh karena itu pada pipa ketel pipa air terjadi transfer panas yang cepat pula.

Ketel uap pipa air yang biasanya mempunyai tabung seperator pada drum uap atas yang berfungsi untuk memisahkan antara uap dan air disaat tekanan tinggi, dimana perbedaan antara densitas air dan uap kecil, digunakan gaya sentrifugal, yang lebih besar dari gaya grafitasi.

2.4.4 Steam Turbine Feed Pump

Steam pump berfungsi untuk memompakan feed water ke dalam boiler dengan menggunakan steam turbine sebagai penggerak pompa. Pompa ini digunakan apabila electric pump tidak berfungsi (dalam keadaan emergency) dan juga pada saat boiler tidak memiliki beban steam yang cukup. Penggerak pompa ini (steam turbine)dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.3 Steam Turbin

2.4.5 Uap Kering (Superheater Steam)

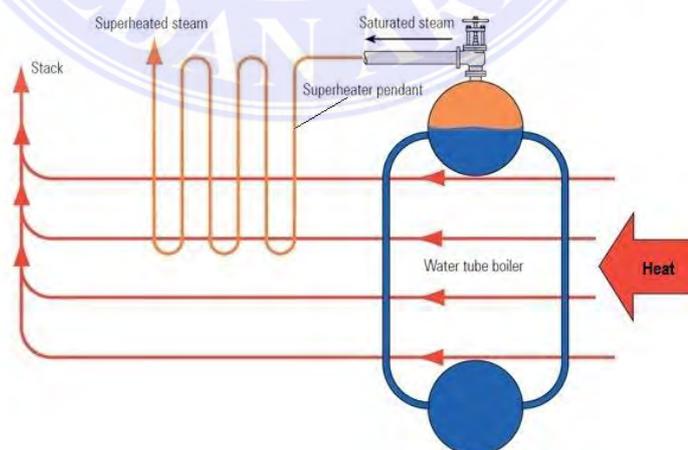
Jika uap jenuh (saturated) dipanaskan lebih lanjut, maka panas tersebut akan menaikkan temperatur uap. Penambahan panas ini disebut Panas Lanjut (Panas Superheat) dan uapnya disebut uap panas lanjut (Superheated steam).

2.4.6 Superheater

Merupakan tempat pengeringan steam, dikarenakan uap yang berasal dari steam drum masih dalam keadaan basah sehingga belum dapat digunakan. Proses pemanasan lanjutan menggunakan superheater pipa yang dipanaskan dengan suhu 260°C sampai 350°C . Dengan suhu tersebut, uap akan menjadi kering dan dapat digunakan untuk menggerakkan turbin maupun untuk keperluan peralatan lain.

Gambar 2.4 Superheater

Superheater adalah sebuah komponen boiler subcritical yang berfungsi untuk memanaskan kembali uap saturated, pada tekanan kerja konstan, sehingga menjadi uap superheated. Teknologi superheater sudah digunakan sejak awal penggunaan mesin uap di sekitar awal abad 20. Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan energi panas yang terkandung di dalam uap, sehingga efisiensi termal mesin akan ikut meningkat. Hingga saat ini penggunaan superheater masih sangat populer, terutama pada boiler-boiler pipa-air besar pembangkit listrik tenaga uap.



Gambar 2.5 Prinsip Kerja Superheater

Gambar di atas adalah gambar penyederhanaan sebuah boiler pipa-air subcritical. Secara sederhana boiler pipa api tersebut tersusun atas dua buah tangki air disisi bawah dan atas. Kedua tangki tersebut terhubung dengan pipa-pipa air yang biasa kita kenal dengan *raiser tube*. Panas dari hasil pembakaran akan lebih dulu melewati *raiser tube*, dengan harapan air mencapai titik saturasinya dan berubah fase menjadi uap saturated.

2.4.7 Air Heater

Komponen ini merupakan alat yang berfungsi untuk memanaskan udara yang digunakan untuk menghembus/meniup bahan bakar agar dapat terbakar sempurna. Udara yang akan dihembuskan, sebelum melewati air heater memiliki suhu yang sama dengan suhu udara normal (suhu luar) yaitu 38°C. Namun, setelah melalui air heater, suhunya udara tersebut akan meningkat menjadi 230°C sehingga sudah dapat digunakan untuk menghilangkan kandungan air yang terkandung didalamnya karena uap air dapat mengganggu proses pembakaran.

2.4.8 Safety Valve (Katup pengaman)

Alat ini berfungsi untuk membuang uap apabila tekanan uap telah melebihi batas yang telah ditentukan. Katup ini terdiri dari dua jenis, yaitu katup pengaman uap basah dan katup pengaman uap kering. Safety valve ini dapat diatur sesuai dengan aspek maksimum yang telah ditentukan. Pada uap basah biasanya diatur pada tekanan 21 kg per cm kuadrat, sedangkan untuk katup pengaman uap kering diatur pada tekanan 20,5 kg per cm kuadrat.



Gambar 2.6 Safety Valve (Katup Pengaman)

2.4.9 Gelas Penduga (Sight Glass)

Gelas penduga dipasang pada drum bagian atas yang berfungsi untuk mengetahui ketinggian air di dalam drum. Tujuannya adalah untuk memudahkan pengontrolan ketinggian air dalam ketel selama boiler sedang beroperasi. Gelas penduga ini harus dicuci secara berkala untuk menghindari terjadinya penyumbatan yang membuat level air tidak dapat dibaca.



Ga

2.4.10 Pembuangan Air Ketel

Komponen boiler ini berfungsi untuk membuang air dalam drum bagian atas. Pembuangan air dilakukan bila terdapat zat-zat yang tidak dapat terlarut, contoh sederhananya ialah munculnya busa yang dapat mengganggu pengamatan terhadap gelas penduga. Untuk mengeluarkan air dari dalam drum, digunakan blowdown valve yang terpasang pada drum atas, katup ini bekerja bila jumlah busa sudah melewati batas yang telah ditentukan.

2.5 Dapur dan Ruang Pembakaran (Furnace)

Bagian ini merupakan tempat terjadinya pembakaran bahan bakar yang akan menjadi sumber panas, proses penerimaan panas oleh media air dilakukan melalui pipa yang telah dialiri air, pipa tersebut menempel pada dinding tungku pembakaran.



Gambar 2.8 Ruang Bakar

Proses perpindahan panas pada furnace terjadi dengan tiga cara:

- 1) Perpindahan panas secara radiasi, dimana akan terjadi pancaran panas dari api atau gas yang akan menempel pada dinding tube sehingga panas tersebut akan diserap oleh fluida yang mengalir di dalamnya.
- 2) Perpindahan panas secara konduksi, panas mengalir melalui hantaran dari sisi pipa yang menerima panas kedalam sisi pipa yang memberi panas pada air.
- 3) Perpindahan panas secara konveksi. panas yang terjadi dengan singgungan molekul-molekul air sehingga panas akan menyebar kesetiap aliran air.

Di dalam furnace, ruang bakar terbagi atas dua bagian yaitu:

1. Pada ruang pertama, di dalamnya akan terjadi pemanasan langsung dari sumber panas yang diterima oleh tube (pipa), sedangkan pada ruang kedua yang terdapat pada bagian atas, panas yang diterima berasal dari udara panas hasil pembakaran dari ruang pertama.
2. Ruang pemanas kedua ini yakni untuk menyerap panas yang terbuang dari ruang pemanasan pertama, agar energi panas yang terbuang secara cuma-cuma tidak terlalu besar, dan untuk mengontrol panas fluida yang telah dipanaskan pada ruang pertama agar tidak mengalami penurunan panas secara berlebihan.

Dapur bentuk rata (flat type furnace dan bentuk gelombang (*corrugated furnace*) dapur menurut bentuknya dibagi dua bagian yaitu:

1. Dapur bentuk rata

2. Dapur bentuk gelombang

Dapur berbentuk gelombang mempunyai keuntungan:

1. Kekuatannya lebih besar terhadap tekanan
2. Bebas memuai dan menyusud karna panas
3. Mempunyai luas penghantar panas yang lebih besar dari dapur bentuk rata

2.5.1 Dust Collector (Pengumpul Abu)

Bagian ini berfungsi untuk menangkap atau mengumpulkan abu yang berada pada aliran pembakaran hingga debu yang terikut dalam gas buang. Keuntungan menggunakan alat ini adalah gas hasil pembakaran yang dibuang ke udara bebas dari kandungan debu. Alasannya tidak lain karena debu dapat mencemari udara di lingkungan sekitar, serta bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan pada alat akibat adanya gesekan abu maupun pasir.

2.5.2 Pengatur Pembuangan Gas Bekas

Asap dari ruang pembakaran dihisap oleh blower IDF (*Induced Draft Fan*) melalui *dust collector* selanjutnya akan dibuang melalui cerobong asap. Damper pengatur gas asap diatur terlebih dahulu sesuai kebutuhan sebelum IDF dinyalakan, karena semakin besar damper dibuka maka akan semakin besar isapan yang akan terjadi dari dalam tungku



1
2
3
4
5

Gambar 2.9 Pengatur Pembuangan Gas Bekas

2.5.3 Cerobong Asap

Cerobong asap merupakan struktur yang berfungsi sebagai ventilasi pembuangan panas gas buang atau asap yang dihasilkan dari kompor, boiler, tungku, atau bahkan perapian ke luar menuju atmosfer. Cerobong asap biasanya tersusun secara vertikal atau mendekati vertikal, dalam arti sangat mendekati vertikal. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan apakah aliran gas telah mengalir dengan lancar atau belum.



Pada umumnya cerobong asap dapat dijumpai pada lokomotif uap dan bangunan-bangunan industri lain, kapal-kapal di Amerika Serikat pun dilengkapi dengan cerobong asap, atau yang lebih dikenal dengan istilah *stack*. Tingginya pembangunan cerobong asap dimaksudkan untuk menarik tinggi-tinggi udara yang ada dan selanjutnya melenyapkan polutan-polutan yang terkandung dalam gas buang menuju wilayah yang lebih luas sehingga dapat mengurangi konsentrasi polutan yang telah disesuaikan dengan batasan peraturan yang berlaku. Pada zaman dahulu, bangsa Roma telah mempergunakan tabung dalam tembok yang difungsikan untuk menarik asap keluar dari toko roti. Cerobong asap dalam wujud yang

sesungguhnya muncul di wilayah Eropa utara memasuki abad ke-12, sedangkan cerobong asap untuk dunia industri baru mulai merebak pada akhir abad 18.

Sejak era tradisional, cerobong asap sudah dibangun dengan menggunakan bahan dasar batu bata, baik itu pada bangunan-bangunan berskala kecil ataupun bangunan-bangunan dalam taraf besar. Cerobong asap, pada awalnya hanya berupa konstruksi bata sederhana, selanjutnya cerobong asap dikembangkan dengan menempatkan batu-bata pada sekitar liners ubin yang difungsikan untuk mengontrol downdrafts ventilasi pot cerobong dengan beragam desain yang sering kali ditempatkan pada bagian atas cerobong asap.

Adapun fungsi dari cerobong asap sendiri adalah untuk menarik keluar udara dari proses pembakaran serta menguraikan polutan yang terkandung dalam gas buang menuju wilayah yang lebih luas. Dengan demikian dapat menurunkan kadar konsentrasi polutan yang ada.

2.6 Bahan Bakar Boiler

Bahan bakar fiber dan cangkang adalah kualitas uap yang di hasilkan dari ketel uap sesuai dengan yang dibutuhkan maka dibutuhkan sejumlah panas untuk menguapkan air tersebut, dimana panas tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar diruang bakar ketel. Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna didalam ketel maka diperlukan beberapa syarat yaitu:

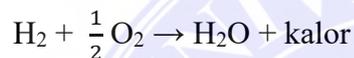
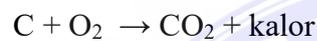
1. Perbandingan pemakaian bahan bakar harus sesuai.
2. Udara yang dipakai harus mencakupi.
3. Waktu yang diperlukan untuk proses pembakaran harus mencakup
4. Panas yang cukup untuk memulai pembakaran.
5. Kerapatan yang cukup untuk merambatkan nyala api

Dalam hal ini bahan bakar yang digunakan adalah fiber dan cangkang alasan mengapa digunakan fiber dan cangkang sebagai bahan bakar adalah:

1. Bahan bakar fiber dan cangkang cukup tersedia dan mudah di peroleh di pabrik.

2. Fiber dan cangkang merupakan limbah dari pabrik kelapa sawit.
3. Nilai kalor bahan bakar fiber dan cangkang memenuhi persyaratan untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.
4. Sisa pembakaran bahan bakar dapat digunakan sebagai pupuk untuk tanaman kelapa sawit.
5. Harga lebih ekonomis.

Unsur terbanyak yang terkandung dalam bahan bakar adalah karbon, hydrogen, dan sedikit sulfur. Pembakaran pada umumnya terdiri dari tiga proses, yaitu :



Tiga senyawa dan panas yang dihasilkan tersebut disebut juga sebagai hasil pembakaran. Pembakaran sempurna adalah pembakaran dengan proporsi yang sesuai antara bahan bakar dengan oksigen. Pada pembakaran yang lebih banyak oksigen dari pada bahan bakar, campuran tersebut dinamakan sebagai campuran kaya. Begitu juga sebaliknya, apabila bahan bakar yang digunakan lebih banyak dari pada oksigen, maka campurannya disebut campuran miskin.

2.6.1 Komposisi Bahan Bakar Cangkang dan Fiber

Pada palm oil mill ini menggunakan ketel uap pipa air yang berbahan bakar cangkang dan fiber. Penulis akan mencari nilai kalor dari cangkang dan fiber tersebut. adapun data yang saya peroleh dari palm oil mill mengenai kandungan unsur-unsur yang terdapat pada cangkang dan fiber pada perbandingan 1:3 dan komposisi 1kg bahan bakar cangkang dan fiber adalah sebagai berikut

Tabel 2.1 Komposisi Dari Unsur-Unsur Kimia Bahan Bakar

Nama unsur	Cangkang	Fiber
------------	----------	-------

Karbon (C)	61,34%	40,00%
Hidrogen (H_2)	3,25%	4,25%
Oksigen (O_2)	31,16%	30,29%
Nitrogen (N_2)	2,45%	22,29%
Abu	1,80%	3,17%

2.6.2 Cangkang Sawit

Cangkang kelapa sawit (*Palm Kernel Shell*) sering juga disebut tempurung sawit adalah bagian keras yang terdapat pada buah kelapa sawit yang berfungsi melindungi isi atau kernel dari buah sawit tersebut. Hampir sama dengan tempurung kelapa yang sering kita jumpai sehari-hari. Ada beberapa alasan yang menjadi dasar pertimbangan mengapa mereka memilih cangkang sawit sebagai bahan bakar.



Gambar 2.11 (Cangkang) Kelapa Sawit

2.6.3 Serabut Kelapa Sawit

Sarabut kelapa sawit merupakan limbah padat yang berasal dari ampas perasan buah kelapa sawit yang diambil minyaknya pada stasiun pengepresan proses pengolahan kelapa sawit.



Gambar 2.12 Serabut (fiber) Kelapa Sawit

2.6.4 Karakteristik Fiber Dan Cangkang

Panas yang dihasilkan serabut jumlahnya lebih kecil dari yang dihasilkan cangkang oleh karena itu perbandingannya lebih besar serabut dari pada cangkang.

2.6.5 Kandungan Bahan Bakar

- a. Kandungan air terlalu banyak
 1. Pengapian jelek
 2. Energi yang didapat rendah dan terjadi kehilangan panas
- b. Kandungan abu terlalu banyak
 1. Nilai pembakaran (Heating Value) rendah
 2. Efisiensi pembakaran jelek
 3. Penanganannya sukar
- c. Zat-zat yang mudah menguap terlalu banyak
 1. Nyala api terlalu panjang hal ini kurang baik karena oksigen tidak
 2. Dapat bercampur dengan sempurna sehingga dapat mengakibatkan
 3. Terbentuknya Gas CO.

d. Mudah Terbentuk Asap Hitam

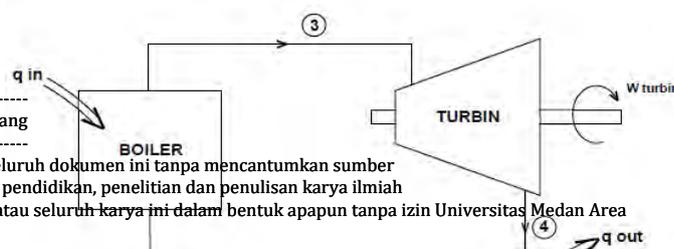
Kandungan karbon tetap terlalu banyak

1. Nilai pembakaran (heating value) tinggi
2. Nyala api pendek

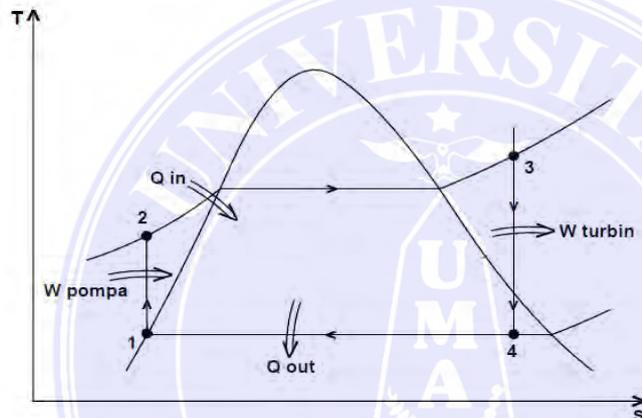
2.7 Siklus Rankine

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.

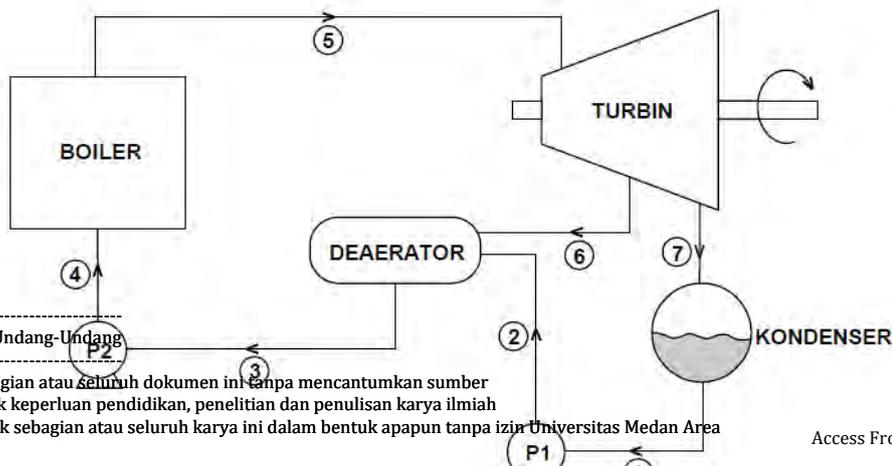


Gambar 2.13 Diagram alir siklus Rankine sederhana



Gambar 2.14 Diagram T-s siklus Rankine sederhana

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



Gambar 2.15 Diagram alir siklus Rankine dengan satu tingkat ekstraksi

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.

2.8 Proses Pembentukan Uap

Sebagai fluida kerja di ketel uap, umumnya digunakan air (H₂O) 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 pada tekanan 1[kg/cm²], maka air secara berangsur-angsur akan berubah fasa menjadi uap dan hal inilah yang disebut sebagai penguapan.

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

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{\text{Panas Pembentukan Uap}}{\text{Panas Masuk}}$$

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

Keterangan	w_s	Kapasitas produksi uap (kg uap/jam)
	w_f	Konsumsi bahan bakar (kg/jam)
	h_3	Entalpi uap (kj/kg)
	h_1	Entalpi air umpan /pengisi ketel (kj/kg)
	LHV	Nilai kalor pembakaran rendah (kj/kg)

1. Keuntungan metode langsung

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

- d. Mudah membandingkan rasio penguapan dengan data benchmark
2. Kerugian metode langsung
 - a. Tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari efisiensi sistem yang lebih rendah
 - b. Tidak menghitung berbagai kehilangan yang berpengaruh pada berbagai tingkat efisiensi.
 - c.

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 mengurangkan bagian kehilangan panas dari 100 sebagai berikut:

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

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

1. Gas cerobong yang kering
2. Penguapan air yang terbentuk karena H₂ dalam bahan bakar
3. Penguapan kadar air dalam bahan bakar
4. Adanya kadar air dalam udara pembakaran
5. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/ fly ash
6. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/ bottom ash
7. 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

1. Analisis ultimate bahan bakar (H_2 , O_2 , S, C, kadar air, kadar abu)
2. Persentase oksigen atau CO_2 dalam gas buang
3. Suhu gas buang dalam $^{\circ}C$ (T_f)
4. Suhu awal dalam $^{\circ}C$ (T_a) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering
5. LHV bahan bakar dalam kkal/kg
6. Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat)
7. LHV abu dalam kkal/kg (untuk bahan bakar padat).

Keuntungan Metode Tidak Langsung

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

Kerugian Metode Tidak Langsung

- Perlu waktu lama
- Memerlukan fasilitas laboratorium untuk analisis.

Untuk penyusunan skripsi ini penulis menganalisa dengan metode langsung, dimana penulis mengambil data secara langsung di PT PLB (Perkrbunan Lembah Bhakti) 1 ASTRA Aceh Singkil

- 1) Steam pressure superheater (bar)
- 2) Temperatur feed tank (oc)
- 3) Temperatur daerator (oc)
- 4) Temperatur out let steam (oc)
- 5) Steam flow(ton uap/jam)

2.10 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:

1. 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:

$$\text{HHV} = 33950 C + 144200 (H_2 - O_2/8) + 9400 S \text{ kj/kg.}$$

2. 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:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2411 (9H_2) \text{ kj/kg}$$

2.11 Kebutuhan Udara Pembakaran

Kebutuhan udara pembakaran didefinisikan sebagai kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk pembakaran 1 kg bahan bakar secara sempurna yang meliputi :

a. Kebutuhan udara teoritis (U_t) :

$$U_t = 11,5 C + 34,5 (H-O/8) + 4,32 S \text{ kg/kgBB}$$

b. Kebutuhan udara pembakaran sebenarnya/aktual (U_s) : $U_s = U_t (1+\alpha)$ kg/kgBB

2.12 Gas Asap

Reaksi pembakaran akan menghasilkan gas baru, udara lebih dari sejumlah energi. Senyawa-senyawa yang merupakan hasil dari reaksi pembakaran disebut gas asap.

a. Berat gas asap teoritis (G_t) $G_t = U_t + (1-A)$ kg/kgBB Dimana A = kandungan abu dalam bahan bakar gas asap yang terjadi terdiri dari:

1. Hasil reaksi atas pembakaran unsur-unsur bahan bakar dengan O_2 dari udara seperti CO_2 , H_2O , SO_2
2. Unsur N_2 dari udara yang tidak ikut bereaksi
- 3 Sisa kelebihan udara

Dari reaksi pembakaran sebelumnya diketahui:

1 kg C menghasilkan 3,66 kg CO_2

1 kg S menghasilkan 1,996 kg SO_2

1 kg H menghasilkan 8,9836 kg H_2O

Maka untuk menghitung berat gas asap pembakaran perlu dihitung dulu masing-masing komponen gas asap tersebut (Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat konversi 1 (Ketel Uap) 1988:196):

$$\text{Berat } CO_2 = 3,66 C \text{ kg/kg} \quad \text{Berat } SO_2 = 2 S \text{ kg/kg} \quad \text{Berat H} = 9 H_2 \text{ kg/kg}$$

Berat $N_2 = 77\% U_s$ kg/kg

Berat $O_2 = 23\% 20\% U_t$

Dari perhitungan di atas maka akan didapatkan jumlah gas asap:

Berat gas asap (G_s) = $W CO_2 + W SO_2 + W H_2O + W N_2 + W O_2$

a. Berat gas asap sebenarnya (G_s) $G_s = U_s + (1-A)$ kg/kgBB

Untuk menentukan komposisi dari gas asap didapatkan: Kadar gas = $(W \text{ gas tersebut} / W \text{ total gas}) \times 100\%$.

2.13 Volume Gas Asap

Jumlah oksigen adalah 21% jumlah udara pembakaran. Jadi: $V(O_2) = 21\% (V_a)_{act}$ belum termasuk oksigen yang dikandung dalam bahan bakar. Oksigen yang terdapat dalam bahan bakar tergantung persentasenya.

Dengan demikian maka volume gas asap basah adalah :

$$V_g = \frac{1,866+C+0,75}{0,11}$$
$$= 1,24 (9 H^2) \text{ m}^3/\text{kgBB.}$$

Dimana :

V_g = Volume gas asap (m^3/kgBB)

C = Nilai carbon bahan bakar

S = Nilai Sulfur bahan bakar

H_2 = Nilai Hidrogen bahan bakar

2.14 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).

$$\text{Efisiensi Boiler} = \frac{\text{Panas Pembentukan Uap}}{\text{Panas Masuk}}$$

$$\text{Efisiensi Boiler} = \frac{w_s (h_3 - h_1)}{w_f \times LVH}$$

keterangan	w_s	Kapasitas produksi uap (kg uap/jam)
	w_f	Konsumsi bahan bakar (kg/jam)
	w_3	Entalpi uap (kj/kg)
	h_1	Entalpi air umpan /pengisi ketel (kj/kg)
	LHV	Nilai kalor pembakaran rendah (kj/kg)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu menganalisa ruang bakar boiler berkapasitas 45 ton/jam dengan cara mengoperasikannya.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan dan pengambilan data seluruh nya dilakukan di PT. PLB 1 ASTRA (PT. Perkebunan Lembah Bhakti) Jln, Kampung baru Aceh Singkil.

3.2.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan selama 1 bulan. Pada awal bulan Maret 2017 sampai akhir Maret 2017.

Table 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	MARET			
		Minggu	minggu	minggu	Minggu
		I	II	III	IV
1	Studi Literatur				
2	Pengenalan alat				
3	Analisis Data				
4	Pembahasan				
5	Pembuatan Laporan				

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.1.3 Alat yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

a. Katup Pengaman (*safety valve*)

Alat ini bekerja membuang uap pada tekanan yang telah ditentukan sesuai dengan penyetelan klep pada alat ini. Umumnya pada katup pengaman tekanan uap basah (*saturated steam*) disetel pada tekanan 21 kg/cm², sedangkan pada katup pengaman tekanan uap lanjut (*superheated steam*) di setel pada tekanan 20,5 kg/cm². Penyetelan hanya dilakukan bersama hanya dengan petugas BPNKK (Badan Pembina Normal Keselamatan Kerja) setelah adanya pemeriksaan berkala atau revisi besar.



Gambar 3.1 Katup Pengaman (Sefety Valve)

b. Gelas Penduga (*sight glass*)

Gelas penduga adalah alat untuk melihat tinggi air didalam drum atas, untuk memudahkan pengontrolan air dalam ketel waktu operasi. Agar tidak terjadi penyumbatan-penyumbatan pada kran-kran uap dan air pada alat ini, maka perlu diadakan spui air secara priodik pada semua kran minimal setiap 3 (tiga) jam. Gelas

penduga ini dilengkapi dengan alat pengontrol air otomatis, bel akan berbunyi dan lampu merah akan menyala pada waktu kekurangan air. Pada waktu kekurangan air, bell akan berbunyi dan lampu kuning akan hidup.



Gambar 3.2 Gelas Penduga

c. Katup Suplai Air (*Blower Down Valve*)

Kran splai air ini dipasang 2 (dua) tingkat, satu buah kran buka cepat (*quick action valve*) dan satu buah lagi kran ulir. Bahan dari kedua kran ini dibuat dari bahan yang bertekanan dan terperatur tinggi.



Gambar 3.3 Katup Suply Air

a. Pengukur Tekanan (*manometer*)

Manometer adalah alat pengukur tekanan uap di dalam ketel yang dipasang satu buah untuk tekanan uap di panasi lanjut dan satu buah lagi untuk tekan uap basah. Untuk menguji kebenaran penunjuk alat ini, pada setiap manometer di pasang kran cabang tiga yang digunakan untuk memasang manometer panera (manometer tera).



Gambar 3.4 Pengukur Tekanan

b. Katup Uap Induk

Keran uap induk berfungsi sebagai alat untuk membuka dan menutup aliran uap keluar ketel yang terpasang pada pipa induk. Alat ini dibuat dari bahan tahan panas dan tekanan tinggi.

c. Atup Pemasukan Air

Keran pemasukan air terdiri 2 (dua) buah kran yaitu satu buah keran ulir dan satu buah lagi keran arah (non return valve). Kedua alat ini terbuat dari bahan yang tahan panas dan tekanan tinggi.

3.4 Data Spesifikasi Boiler

Adapun data yang diperoleh langsung dari

Katalog Boiler. Tabel 3.2 Spesifikasi Boiler

Steam pressure superheater (bar)	Temperatur air umpan (°C)	Temperatur uap (°C)	produksi Uap (kg uap/jam)
29	103	350	35000

3.5 Data Dari Stasiun Boiler

Adapun data yang diperoleh langsung dari lapangan pada stasiun boiler meliputi:

1. *Steam pressure superheater* (bar)
2. Temperatur *feed tank* (°C)
3. Temperatur daerator (°C)
4. Temperatur *out let steam* (°C)
5. *Steam flow* (ton uap/jam).

Tabel 3.3 Data Senin 6 Agustus 2018

TIME (WIB)	STEAM PRESSURE (BAR)	FEED WATER TEMPERATURE °C		TEMPERATURE OUTLED	STEAM FLOW
	SUPERHEATER	FEED TANK	DEARATOR	STEAM °C	
09.00	20.2	60	100	315	24.2
10.00	20.5	62	100	315	25.0
11.00	20.4	70	100	312	25.5
12.00	20.0	70	100	319	26.2
13.00	20.6	70	100	315	26.5
14.00	20.5	68	100	313	26.4
15.00	20.5	68	100	315	25.8
16.00	20.2	68	100	320	26.5
Rata Rata	20.5	69	100	315	26.6

Tabel 3.4 Data Selasa 7 Agustus 2018

TIME (WIB)	STEAM PRESSURE (BAR)	FEED WATER TEMPERATURE °C		TEMPERATURE OUTLED	STEAM FLOW
	SUPERHEATER	FEED TANK	DEARATOR	STEAM °C	
09.00	20.4	62	100	310	24.1
10.00	20.6	65	100	312	25.5
11.00	20.5	68	100	320	25.5
12.00	20.4	70	100	318	26.2
13.00	20.5	70	100	320	26.5
14.00	20.5	68	100	315	26.2
15.00	20.5	66	100	314	25.5
16.00	20.6	68	100	315	26.5
Rata Rata	20.5	68	100	3.20	26.6

Tabel 3.5 Rabu 8 Agustus 2018

TIME (WIB)	STEAM PRESSURE (BAR)	FEED WATER TEMPERATURE °C		TEMPERATURE OUTLED	STEAM FLOW
	SUPERHEATER	FEED TANK	DEARATOR	STEAM °C	
09.00	20.5	65	100	310	24.8
10.00	20.6	62	100	312	25.2
11.00	20.5	70	100	320	25.5
12.00	20.2	68	100	315	26.2
13.00	20.4	70	100	320	26.5
14.00	20.2	68	100	311	26.2
15.00	20.6	66	100	315	26.2
16.00	20.6	68	100	315	26.3
Rata Rata	20.5	68	100	315	26.6

3.6 Data Hasil Percobaan Bom Kalorimeter

Tabel 3.7 Cangkang kelapa sawit murni

No	T ₁ ^o C	T ₂ ^o C
1	26,71	27,09
2	26,70	27,28
3	27,89	28,90
4	28,30	28,50
5	28,50	28,77

Tabel 3.8 Serabut kelapa sawit

No	T ₁ ^o C	T ₂ ^o c
1	27,13	27,35
2	27,01	27,45
3	27,49	27,75
4	27,30	27,77
5	28,52	28,77

Tabel 3.6 Serabut 75% Cangkang 25%

No	T ₁ ^o C	T ₂ ^o C
1	26,70	27,25
2	27,30	27,75
3	27,90	28,20
4	28,58	28,75
5	28,90	29,40

Tabel 3.9 Komposisi Dari Unsur-Unsur Kimia Bahan Bakar

Nama unsur	Cangkang	Fiber
Karbon (C)	61,34%	40,00%
Hidrogen (H_2)	3,25%	4,25%
Oksigen (O_2)	31,16%	30,29%
Nitrogen (N_2)	2,45%	22,29%
Abu	1,80%	3,17%

3.6.1 Analisa dan Karakter Bahan Bakar

Analisa pendekatan (proximate analysis) dilakukan dengan cara mengukur komponen-komponen yang terkandung di dalam bahan bakar tersebut, seperti air, abu, zat-zat yang mudah menguap, serta jumlah kandungan karbon tetap.

3.6.2 Analisa Kandungan Bahan Bakar

- a. Kandungan air terlalu banyak
 1. Pengapian jelek
 2. Energi yang didapat rendah dan terjadi kehilangan panas
- b. Kandungan abu terlalu banyak
 1. Nilai pembakaran (Heating Value) rendah
 2. Efisiensi pembakaran jelek
 3. Penanganannya sukar
- c. Zat-zat yang mudah menguap terlalu banyak
 1. Nyala api terlalu panjang hal ini kurang baik karena oksigen tidak
 2. Dapat bercampur dengan sempurna sehingga dapat mengakibatkan
 3. Terbentuknya Gas CO.
 4. Mudah Terbentuk Asap Hitam

- d. Kandungan karbon tetap terlalu banyak
 1. Nilai pembakaran (heating value) tinggi
 2. Nyala api pendek

3.7 Variabel Penelitian

3.7.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian, variabel bebas yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Variasi Perlakuan

Variasi perlakuan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu hal hal yang dilakukan untuk pengoperasian boiler (dapur boiler) ketel uap kapasitas 50 ton/jam adalah sebagai berikut:

- 1) Tekanan uap yang diperlukan
 - 2) Kapasitas produksi uap maksimum
 - 3) Pemeriksaan visual pada bagian luar dan dalam
 - 4) Tangki air umpan (*feed water tank*) dalam keadaan penuh
 - 5) Pompa air umpan (*feed water pump*) dalam kondisi baik
 - 6) Seluruh peralatan pengaman boiler dalam kondisi baik
 - 7) Tinggi permukaan air boiler di dalam drum sesuai dengan batas yang ditentukan
 - 8) Dapur dalam keadaan bersih
 - 9) Bahan bakar cukup tersedia
- b. Mempersiapkan segala sesuatu yang dibutuhkan untuk pengoperasian.
1. Bahan bakar :
 - Fiber (ukuran)

- Shell (ukuran)

3.7.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya.

Penelitian ini mempunyai variable terikat yang meliputi :

- a. panas (kalor) yang dihasilkan bahan bakar (C/menit)
- b. suhu yang dihasilkan boiler dari pembakaran (bar/jam)
- c. Konsumsi bahan bakar.

3.8 Prosedur Penelitian

Seluruh pengambilan data dilakukan pada alat ketel uap kapasitas 45 ton/jam.

3.8.1 Penyusunan Alat Penelitian.

Sebelum dilaksanakan penelitian, terlebih dulu melakukan persiapan menyusun perlengkapan penelitian. Sebelum menyusun alat, dilakukan pengecekan kondisi pada boiler khususnya bagian dapur misalnya :

3.8.2 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Tahap Persiapan Pengujian

Setelah proses pemeriksaan peralatan dan alat sudah sepenuhnya terpasang dengan baik maka dilakukan pengecekan kondisi pemasangan pada alat ukur suhu.

- b. Tahap Pengujian

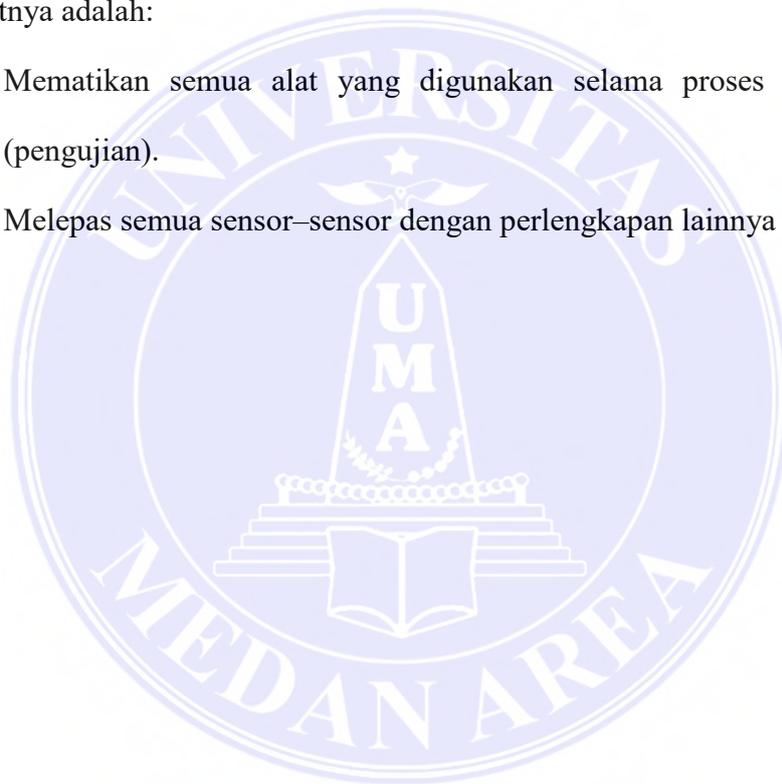
Tahapan proses pengujian dapat dilakukan dengan memperhatikan :

1. Tangki air umpan dalam keadaan penuh dengan mutu air menurut persyaratan air umpan
2. Buka kran buang udara pada drum superheater

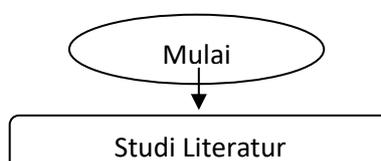
3. Nyalakan api
 4. Hidupkan konveyor bahan bakar
 5. pada tekanan 10 kg/cm air kondensat pada pipa di buang dengan tekanan 10 kg/cm
 6. Naikkan tekanan ketel sampai tekanan kerja
- c. Akhir Pengujian

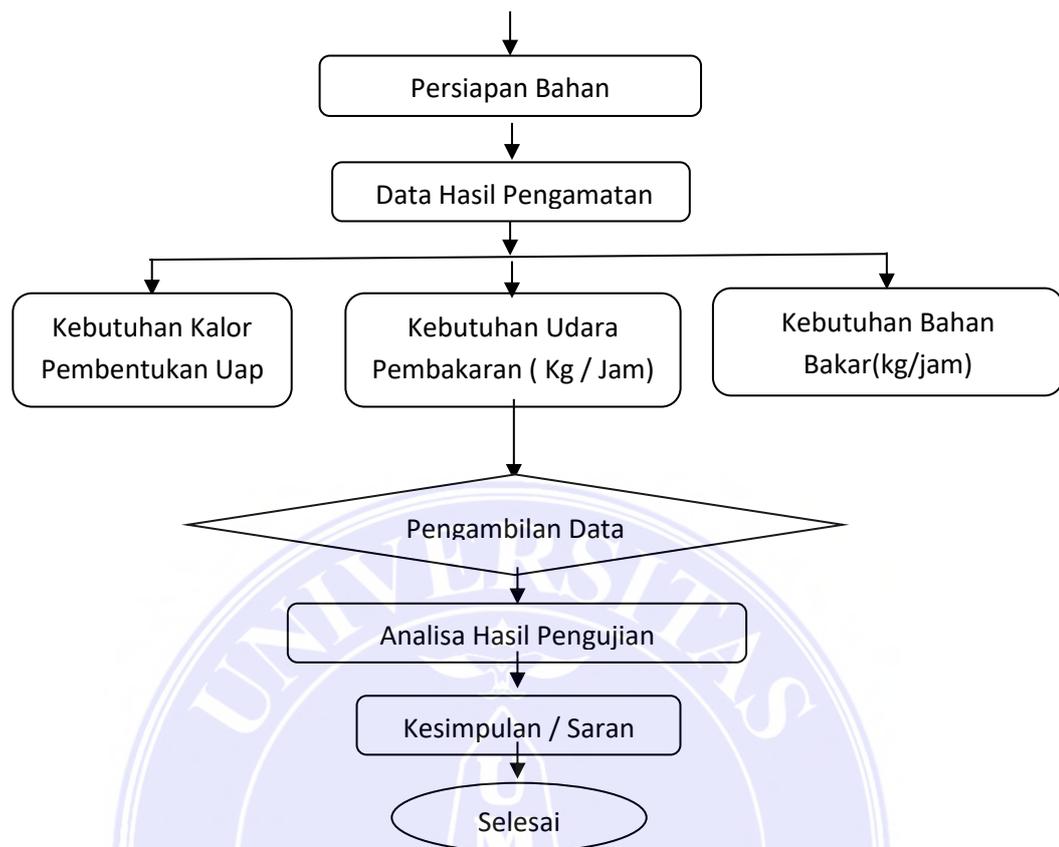
Setelah proses pengujian atau pengambilan data selesai, langkah yang selanjutnya adalah:

1. Mematikan semua alat yang digunakan selama proses pengoperasian (pengujian).
2. Melepas semua sensor–sensor dengan perlengkapan lainnya



3.9 Diagram Alir Penelitian





a. Perumusan Masalah

Langkah pertama kali yang dilakukan sebelum dilakukannya penelitian ini adalah menentukan rumusan masalah yang akan diteliti. Karena dari perumusan masalah ini nantinya akan ditemukan berbagai permasalahan yang akan dibahas dan diteliti.

b. Studi Literatur

Setelah merumuskan masalah yang akan diteliti, maka materi-materi yang menunjang berjalannya penelitian ini diperlukan agar mempermudah dan membatasi penelitian ini maka dari itu diperlukan studi literatur tentang pengujian analisa dapur ketel uap.

c. Identifikasi Data Bahan

Mengidentifikasi data pada dapur ketel uap dan data spesifikasi bahan bakar yang akan digunakan pada penelitian ini.

d. Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

e. Pengambilan Data

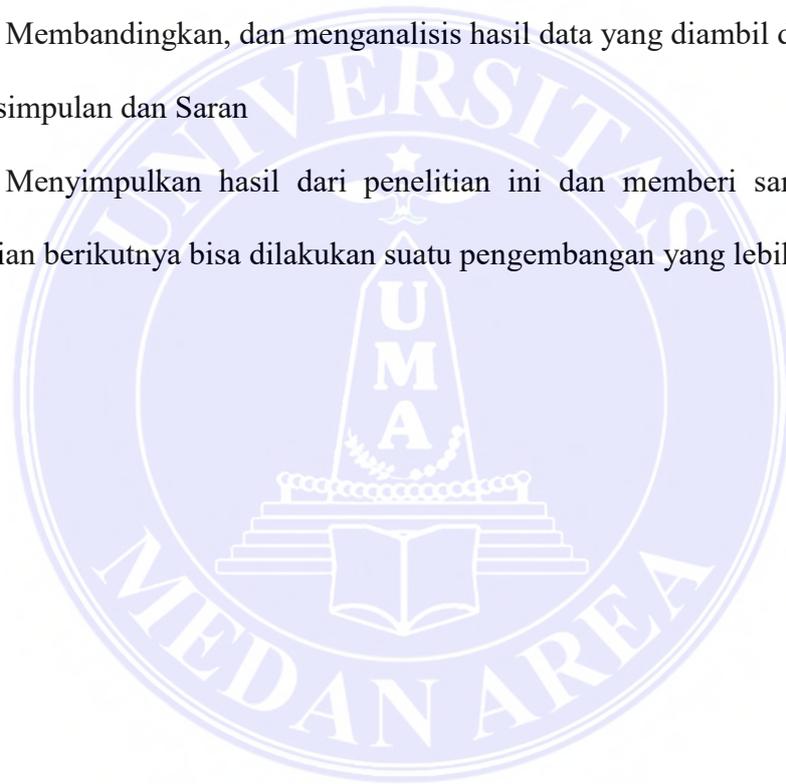
Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan suhu yang diperlukan untuk ketel kapasitas 20 ton /jam.

f. Analisa Hasil

Membandingkan, dan menganalisis hasil data yang diambil dari ketel uap.

g. Kesimpulan dan Saran

Menyimpulkan hasil dari penelitian ini dan memberi saran agar pada penelitian berikutnya bisa dilakukan suatu pengembangan yang lebih baik lagi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan di PT PLB (Perkebunan Lembah Bhakti) Aceh Singkil, dapat disimpulkan beberapa hal, antara lain:

1. Nilai efisiensi water tube boiler terendah yang dihasilkan sebesar 45,9%, dan nilai efisiensi water tube boiler tertinggi yang dihasilkan sebesar 46,6%.
2. Membandingkan efisiensi boiler saat baru dengan keadaan sekarang mengalami penurunan, efisiensi boiler saat baru sebesar 62,2 % sedangkan efisiensi boiler dengan keadaan saat ini mengalami penurunan menjadi sebesar 45,9 % - 46,6 %.
3. Hubungan variasi tekanan superheater dengan efisiensi boiler tidak konstan naik melainkan naik turun.
4. Hubungan variasi jumlah uap yang dihasilkan dengan efisiensi boiler relatif konstan naik.
5. Nilai rata-rata yang diperoleh dari boiler untuk:
 - a. Steam pressure superheater : 20,5 bar
 - b. Temperatur feed tank : 68 C
 - c. Temperatur daerator : 100C
 - d. Temperatur out let steam : 315 C
 - e. Steam flow : 26,6 ton uap/jam.

6. Nilai kalor bahan bakar serabut 75% + cangkang 25% kelapa sawit:

- a. Nilai kalor pembakaran tinggi (HHV) = 33088,32 kJ/kg
- b. Nilai kalor pembakaran rendah (LHV) = 29848,32kJ/kg.

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang dapat diajukan pada palm oil mill maupun pembaca untuk menyempurnakan penelitian tentang analisa efisiensi water tube boiler berbahan bakar fiber dan cangkang untuk kedepan ialah sebagai berikut:

1. Untuk mengurangi penurunan efisiensi boiler lakukan pengontrolan terhadap kandungan air pada feed water sebelum masuk ke deaerator.
2. Lakukan pengecekan katup-katup yang ada pada boiler, harus diperhatikan bahwa semua katup dapat berfungsi dengan baik.
3. Untuk meningkatkan efisiensi boiler lakukan pengecekan secara berkala, dan pembersihan pipa-pipa boiler secara berkala.
4. Untuk meningkatkan efisiensi boiler kandungan air yang berlebihan pada bahan bakar untuk diperhatikan.

DAFTAR PUSTAKA

A Muin, Syamsir, 1986. *Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)* Rajawali Press, Jakarta

Silalahi Abel, *Dasar-dasar Ketel Uap*, ITN Malang, 1977.

Holman, JP, 1981, *Heat Transfer*, Mc Graw Hill Book Inc., Edisi ke 5, Jakarta.

El-Wakil, M.M., Jasjfi, MSc, Ir. E., 1992, *Instalasi Pembangkit Daya*, Erlangga, Jilid 1, Jakarta.

Yunus, Asyari D. *Ketel Uap (Steam Boiler)*. Jakarta: Teknik Mesin

<http://www.scribd.com/doc/28323850/Pengetahuan-Umum-Boiler>

www.energyefficiencyasia.org, *Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri di Asia*, (18 November 2009)

<http://matabayangan.blogspot.com/2013/04/jenis-jenis-ketel-uap.html>

LAMPIRAN

Lampiran 1

DAFTAR SIMBOL

Nota si	Arti Efisiensi	Satuan (%)
t	Temperatur	(°C)
HHV	High heating value	(kJ/kg)
LHV	Low heating value	(kJ/kg)
h	Entalpi	(kJ/kg)
W_f	Banyaknya bahan bakar	(kg/jam)
W_s	Kapasitas uap	(kg uap /jam) (m ³ /kgBB)
V_g	Volume gas asap	
P	Tekanan	(bar)
α	Faktor kelebihan udara	(%)
G_t	Berat gas asap teoritis	(kg/kgBB)
G_s	Berat gas asap sebenarnya	(kg/kgBB)
U_t	Kebutuhan udara teoritis	(kg/kgBB)
U_s	Kebutuhan udara sebenarnya	(kg/kgBB)
h₃	Entalpi uap	(kJ/kg)
h₁	Entalpi air umpan/pengisi ketel	(kJ/kg)
P₃	Tekanan superheater	(bar)

Lampiran 2

Data Analisa Senin 6 Agustus 2018

TIME (WIB)	STEAM PRESSURE (BAR)	FEED WATER TEMPERATURE °C		TEMPERATURE OUTLED	STEAM FLOW
	SUPERHEATER	FEED TANK	DEARATOR	STEAM °C	
09.00	20.2	60	100	315	24.2
10.00	20.5	62	100	315	25.0
11.00	20.4	70	100	312	25.5
12.00	20.0	70	100	319	26.2
13.00	20.6	70	100	315	26.5
14.00	20.5	68	100	313	26.4
15.00	20.5	68	100	315	25.8
16.00	20.2	68	100	320	26.5
Rata Rata	20.5	69	100	315	26.6

Data analisa Selasa 7 Agustus 2018

TIME (WIB)	STEAM PRESSURE (BAR)	FEED WATER TEMPERATURE °C		TEMPERATURE OUTLED	STEAM FLOW
	SUPERHEATER	FEED TANK	DEARATOR	STEAM °C	
09.00	20.4	62	100	310	24.1
10.00	20.6	65	100	312	25.5
11.00	20.5	68	100	320	25.5
12.00	20.4	70	100	318	26.2
13.00	20.5	70	100	320	26.5
14.00	20.5	68	100	315	26.2
15.00	20.5	66	100	314	25.5
16.00	20.6	68	100	315	26.5
Rata Rata	20.5	68	100	3.20	26.6

Data analisa Rabu 8 Agustus 2018

TIME (WIB)	STEAM PRESSURE (BAR)	FEED WATER TEMPERATURE °C		TEMPERATURE OUTLED STEAM °C	STEAM FLOW
	SUPERHEATER	FEED TANK	DEARATOR		
09.00	20.5	65	100	310	24.8
10.00	20.6	62	100	312	25.2
11.00	20.5	70	100	320	25.5
12.00	20.2	68	100	315	26.2
13.00	20.4	70	100	320	26.5
14.00	20.2	68	100	311	26.2
15.00	20.6	66	100	315	26.2
16.00	20.6	68	100	315	26.3
Rata Rata	20.5	68	100	315	26.6

Lampiran 3

Data Hasil Percobaan Bom Kalorimeter

Hasil percobaan Cangkang kelapa sawit murni

No	T ₁ ^o C	T ₂ ^o c
1	26,71	27,09
2	26,70	27,28
3	27,89	28,90
4	28,30	28,50
5	28,50	28,77

Data hasil Serabut kelapa sawit

No	T ₁ ^o C	T ₂ ^o c
1	27,13	27,35
2	27,01	27,45
3	27,49	27,75
4	27,30	27,77
5	28,52	28,77

Data hasil Serabut 75% Cangkang 25%

No	T ₁ ^o C	T ₂ ^o C
1	26,70	27,25
2	27,30	27,75
3	27,90	28,20
4	28,58	28,75
5	28,90	29,40

Lampiran 4

Komposisi Dari Unsur-Unsur Kimia Bahan Bakar

Nama unsur	Cangkang	Fiber
Karbon (C)	61,34%	40,00%
Hidrogen (H_2)	3,25%	4,25%
Oksigen (O_2)	31,16%	30,29%
Nitrogen (N_2)	2,45%	22,29%
Abu	1,80%	3,17%

Lampiran 5

Mutu air Umpan Boiler

Parameter	Satuan	Ukuran
pH	unit	10,5-11,5
Conductivity	$\mu\text{mhos/cm}$	5000, max
TDS	ppm	3500, max
P-Alkalinity	ppm	-
M-Alkalinity	ppm	800, max
O-Alkalinity	ppm	2,5 x SiO_2 , min
T Hardness	ppm	-
Silika	ppm	150, max
Besi	ppm	2, max
Phospat residual	ppm	
Sulfite residual	ppm	20-50
pH condensate	unit	8,0-9,0

Sumber : <http://vionaadistie.blogspot.com/2011/01/air-industri-air-boiler.html>

Lampiran 6

Keuntungan dan Kerugian Berdasarkan Tipe Pipa

NO	Tipe boiler	Keuntungan	Kerugian
1	<i>Fire tube boiler</i>	Proses pemasangan mudah dan cepat. Tidak membutuhkan <i>setting</i> khusus	Tekanan operasi <i>steam</i> terbatas untuk tekanan rendah
		Investasi awal boiler ini murah	Kapasitas <i>steam</i> relatif kecil jika dibandingkan dengan <i>water tube</i>
		Bentuknya lebih <i>compact</i> dan <i>portabel</i>	Tempat pembakarannya sulit dijangkau untuk dibersihkan, diperbaiki dan diperiksa kondisinya.
		Tidak membutuhkan area yang besar untuk 1 HP boiler	Nilai efisiensinya rendah, karena banyak energi kalor yang terbuang
2	<i>Water Tube Boiler</i>	Kapasitas <i>steam</i> besar	Proses konstruksi lebih detail
		Tekanan operasi mencapai 100 bar Nilai efisiensinya relatif lebih tinggi dari <i>fire tube boiler</i>	Investasi awal relatif lebih mahal Penanganan air yang masuk ke dalam boiler perlu dijaga, karena lebih sensitif untuk sistem ini. Perlu komponen pendukung untuk hal ini.
		Tungku mudah dijangkau untuk melakukan pemeriksaan, pembersihan, dan perbaikan	Karena mampu menghasilkan kapasitas dan <i>steam</i> yang lebih besar, maka konstruksinya membutuhkan area yang lebih luas.

Sumber : <http://www.scribd.com/doc/28323850/Pengetahuan-Umum-Boiler>