

PENGARUH KELEMBABAN BAHAN BAKAR CAMPURAN FIBER DAN CANGKANG TERHADAP EFISIENSI BOILER

SKRIPSI

OLEH:

**MUAMMAR KHALID BADAWI
168130082**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2020**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 22/12/21

Access From (repository.uma.ac.id)22/12/21

PENGARUH KELEMBABAN BAHAN BAKAR CAMPURAN FIBER DAN CANGKANG TERHADAP EFISIENSI BOILER

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana di Program Studi Teknik
Mesin Fakultas Teknik Mesin Universitas Medan Area



OLEH :

**MUAMMAR KHALID BADAWI
168130082**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2020**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 22/12/21

Access From (repository.uma.ac.id)22/12/21

HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI

Judul TA : Pengaruh Kelembaban Bahan Bakar Campuran Fiber Dan Cangkang Terhadap Efisiensi Boiler
Nama Mahasiswa : Muammar Khalid Badawi
NIM : 168130082
Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK

Disetujui Oleh Komisi Pembimbing

Dosen Pembimbing II,

Dosen Pembimbing I



(Muhammad Idris, ST., MT)
NIDN : 0106058104



(Ir. H. Amirsyam Nasution, MT)
NIDN : 0025125606



14/12/21

Dr. Ir. Dina Maizana, MT
NIDN. 0112096601



(Muhammad Idris, ST., M.T.)
NIDN : 0106058104

Tanggal Lulus : 23 Desember 2020

HALAMAN 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 berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 23 Desember 2020



(Muammar Khalid Badawi)
(168130082)

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muammar Khalid Badawi
NIM : 168130082
Fakultas : TEKNIK
Program Studi : TEKNIK MESIN
Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : Pengaruh Kelembaban Bahan Bakar Campuran Fiber Dan Cangkang Terhadap Efisiensi Boiler. Dengan Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih mediakan / formatkan, mengelola dalam bentuk perangkat data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir / skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Medan, 23 Desember 2020

Yang menyatakan



(Muammar Khalid Badawi)
(168130082)

ABSTRAK

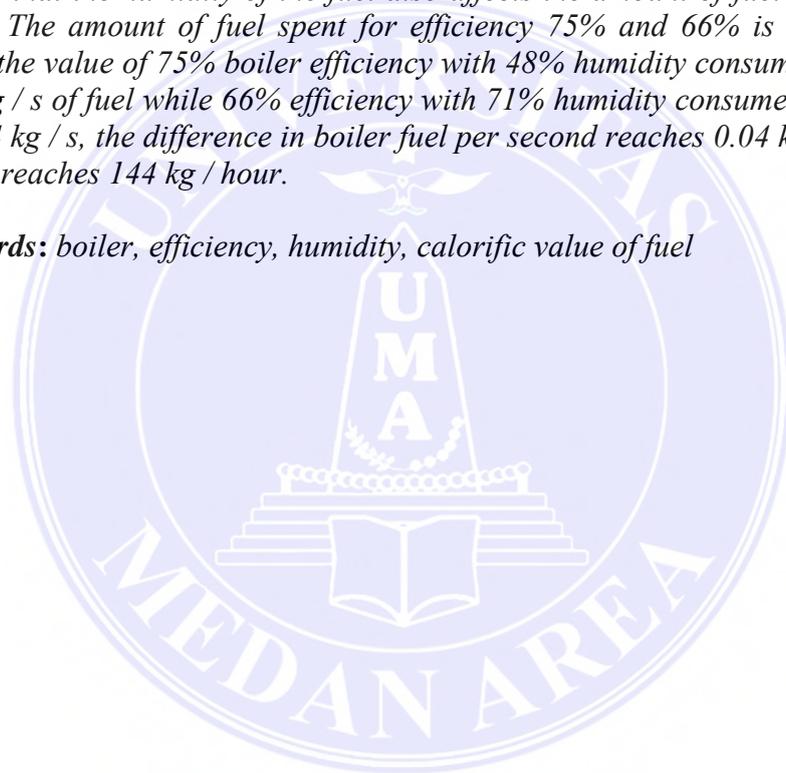
Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi boiler ialah nilai kelembaban bahan bakar boiler, dimana nilai kelembaban bahan bakar sangat berpengaruh terhadap efisiensi, nilai kalor dan jumlah bahan bakar yang di gunakan, semakin besar nilai kelembabannya maka semakin besar pula bahan bakar yang di butuhkan boiler dan semakin kecil pula kalor bahan bakar tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui rasio kelembaban dan pengaruh kelembaban bahan bakar terhadap efisiensi boiler, efisiensi boiler untuk setiap kelembaban bahan bakar memiliki nilai efisiensi yang berbeda dimana nilai efisiensi tertinggi dimiliki oleh bahan bakar setelah di keringkan dengan nilai kelembaban 48% dimana efisiensi boiler mencapai 75% sedangkan nilai efisiensi boiler terendah dimiliki oleh bahan bakar sebelum dikeringkan dengan kelembaban 71% dan efisiensi boilernya mencapai 66%, selain itu kelembaban bahan bakar juga berpengaruh terhadap jumlah bahan bakar yang di butuhkan boiler. jumlah bahan bakar yang dihabiskan untuk efisiensi 75% dan 66% sangat berbeda, Dimana nilai efisiensi boiler 75% dengan kelembaban 48% menghabiskan bahan bakar sebanyak 0,30 kg/s sedangkan efisiensi 66% dengan kelembaban 71% menghabiskan bahan bakar sebanyak 0,34 kg/s, selisih bahan bakar boiler perdetiknya mencapai 0,04 kg/s sedangkan perjamnya mencapai 144 kg/jam.

Kata Kunci : boiler, efisiensi, kelembaban, nilai kalor bahan bakar

ABSTRACT

Some of the factors that affect the value of boiler efficiency are the humidity value of the boiler fuel, where the humidity value greatly affects the efficiency and the amount of fuel used, the greater the humidity value, the greater the fuel needed by the boiler. The purpose of this study is to determine the ratio of humidity and the effect of boiler fuel humidity on boiler efficiency, boiler efficiency for each fuel humidity has a different efficiency value where the highest efficiency value is owned by the fuel after drying with a humidity value of 48% where boiler efficiency reaches 75% while the lowest boiler efficiency value is owned by the fuel before drying with 71% humidity and the boiler efficiency reaches 66%, besides that the humidity of the fuel also affects the amount of fuel needed by the boiler. The amount of fuel spent for efficiency 75% and 66% is very different, where the value of 75% boiler efficiency with 48% humidity consumes as much as 0.30 kg / s of fuel while 66% efficiency with 71% humidity consumes fuel as much as 0.34 kg / s, the difference in boiler fuel per second reaches 0.04 kg / s while the hourly reaches 144 kg / hour.

Keywords: boiler, efficiency, humidity, calorific value of fuel



RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis bernama Muammar Khalid Badawi dilahirkan di Kota Medan, Sumatra Utara pada tanggal 10 November 1998. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara, pasangan dari Munawar dan, Syahidah sukrawati Hudawi. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri Krajan bogo, Demak dan Tamat pada tahun 2010. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di MTS Negeri Karang Tengah, Jawa Tengah dan Tamat pada Tahun 2013. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di SMK Muhammadiyah 10 Kisaran. Jurusan Teknik Sepeda Motor dan Tamat pada tahun 2016. Pada tahun 2016 penulis terdaftar menjadi mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area dan selesai pada tahun 2020.

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh

Alhamdulillah, Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan hidayah Nya maka penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Yang mana sudah menjadi kewajiban yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Adapun judul tugas akhir ini ialah : **“Pengaruh Kelembaban Bahan Bakar Campuran Fiber Dan Cangkang Terhadap Efisiensi Boiler”**.

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis sudah berusaha semaksimal mungkin untuk melakukan penyusunan dengan sebaik-baiknya. Namun penulis menyadari bahwa keterbatasan pengetahuan dan pengalaman masih banyak kekurangan yang terdapat di dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan petunjuk dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun untuk menyempurnakan skripsi ini.

Selama perkuliahan sampai dengan seterusnya skripsi ini penulis telah banyak menerima bantuan moral maupun material yang tidak dapat dinilai harganya. Untuk itu melalui tulisan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang setulusnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area yang telah memberikan izin dan fasilitas untuk penyusunan tugas akhir ini.

2. Ibu Dr. Grace Yuswita Harahap, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas yang telah memberikan izin dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Muhammad Idris, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area dan Bapak M.Yusuf Rahmansyah Siahaan, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi dan bimbingannya.
4. Bapak Ir. H. Amirsyam Nasution, MT., dan Muhammad Idris, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing, motivasi dan memberikan saran kepada penulis dalam penulisan tugas akhir ini.
5. Segenap Dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area dan Birokrasi Administrasi Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
6. Bapak Isnandar, B.sc., S.Kom., MM., selaku meneger Pabrik Kelapa Sawit Kebun Rambutan PTPN III dan segenap pegawai pabrik yang telah membantu saya dalam menyelesaikan riset di pabrik.
7. Munawar dan Syaidah Sukmawati Hudawi selaku orang tua yang sangat saya sayangi dan cintai, dimana telah banyak memberikan perhatian, motivasi, nasihat, doa, dukungan moral dan materi sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
8. Sahabat dan kawan-kawan yang membantu saya tenaga, semangat, dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini yaitu Jody prasetya, Mhd Ferdinandsyah Ujung, Irfan Hadi, Recsi Febian Ardiansyah, Abdul Wahid, dan yang lainnya.

9. Joko Suprianto Siagian dan Anju Hutapea yang ikut memberikan semangat, motivasi, dan membantu menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Rekan-rekan Seperjuangan Mahasiswa Teknik Mesin Stambuk 2016 dari kampus Universitas Medan Area, serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang sudah banyak memberikan motivasi, masukan, dan bantuan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat, terutama bagi penulis dan semua pembaca.

Aamiin yarabbal'alamin.

Medan, 23 Desember 2020

Muammar Khalid Badawi
168130082

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR / SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iii
ABSTRAK	iv
RIWAYAT HIDUP PENULIS	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Pengertian Boiler	4
B. Kelapa Sawit	6
C. Limbah Kelapa Sawit	6
D. Bahan Bakar Boiler	7
E. Proses Pembentukan Uap	12
F. Nilai kelembaban	15
G. Neraca Panas	16
H. Metode Pengkajian Efisiensi Boiler	18
I. Kebutuhan Udara Pembakaran	22
J. Gas Asap	22
K. Volume Gas Asap	23
L. Kebutuhan Panas Boiler	24
M. Konsumsi Bahan bakar	24
N. Perhitungan Efisiensi Boiler	25
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	27
A. Tempat Dan Waktu	27
B. Alat	28
C. Metode Penelitian	29
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
A. Nilai Kelembaban dan Nilai Kalor Bahan Bakar	31
B. Perhitungan Jumlah Konsumsi Bahan Bakar Boiler	33
C. Perhitungan Kebutuhan Panas Boiler	34
D. Perhitungan Jumlah Konsumsi Bahan Bakar Boiler	34
E. Perhitungan Efisiensi Boiler	35
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	38
A. Kesimpulan	38
B. Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skematis Instalasi Kelengkapan Standard Boiler	5
Gambar 2.2. Produk Pengolahan Tandan Buah Segar Kelapa Sawit	7
Gambar 2.3. Contoh Bahan Bakar Cair	9
Gambar 2.4. Contoh Bahan Bakar Gas	9
Gambar 2.5. Contoh Bahan Bakar Padat	10
Gambar 2.6. Cangkang Kelapa Sawit	11
Gambar 2.7. Serabut Buah Kelapa Sawit.....	12
Gambar 2.8. Grafik Diagram P-H (<i>Pressure - Enthalpy</i>)	14
Gambar 2.9. Grafik Diagram T-S (<i>Temperature – Entropy</i>)	14
Gambar 2.10. Grafik Diagram Enthalpy – Entropy (H-S).....	15
Gambar 2.11. Diagram Alir	18
Gambar 2.12. Kehilangan Energi.....	19
Gambar 3.1. Alat Ukur Kelembaban	27
Gambar 3.2. Bomkalori Meter	28
Gambar 3.3. Diagram Alir	29
Gambar 4.1. Grafik Perbandingan Nilai Kelembaban Terhadap Jumlah Bahan Bakar.....	36
Gambar 4.2. Grafik Perbandingan Nilai Kelembaban Terhadap Efisiensi	37

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Jadwal Penelitian.....	26
Tabel 4.1. Analisa Rata – rata Nilai Kalori.....	32
Tabel 4.2. Analisa Rata – rata Nilai Kalori.....	32
Tabel 4.3. Rata – rata Nilai Kalor Bahan Bakar Boiler	32
Tabel 4.4. Enthalpi	33
Tabel 4.5. Perbandingan Nilai Kelembaban	35



BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Boiler atau ketel uap adalah salah satu peralatan utama dari pabrik yang berfungsi untuk merubah air menjadi uap superheat yang di dalamnya berisi air atau fluida lain untuk dipanaskan dan menghasilkan uap. Energi panas fluida tersebut berbagai macam keperluan, untuk turbin yang menggunakan uap, sterilizer, mesin uap, pemanas ruangan, dan lain sebagainya. Secara proses ketel memiliki fungsi untuk merubah air menjadi uap *superheat* yang bertemperatur dan bertekanan tinggi. [1]

Bahan bakar adalah bahan-bahan yang digunakan dalam proses pembakaran sehari-hari, bahan bakar sangat di perlukan untuk kebutuhan sehari-hari. Bahan bakar sudah menjadi kebutuhan bagi manusia, sedangkan bahan bakar di Indonesia ini sudah semakin menipis persediaannya. Syarat utama proses pembakaran adalah tersedia bahan-bakar yang bercampur dengan baik dengan udara dan tercapainya suhu pembakaran. Bahan bakar yang di pergunakan dapat di klasifikasikan dalam tiga kelompok yakni bahan bakar berbentuk cair, gas dan padat. Bahan bakar gas sering digunakan di tempat-tempat yang banyak menghasilkan gas yang ekonomis dipakai pada motor, yakni gas alam, gas dapur kokas, gas dapur tinggi, dan gas dari pabrik gas. Bahan bakar cair diperoleh dari minyak bumi yang dalam kelompok ini ialah bensin dan minyak bakar, kemudian kerosin dan bahan bakar padat. Adanya limbah hasil produksi pabrik kelapa sawit yang dapat digunakan untuk bahan bakar boiler yaitu fiber dan cangkang.

Fibre dan cangkang adalah jenis bahan bakar padat yang digunakan pada boiler. Bahan bakar Fibre adalah bahan bakar padat yang berbentuk seperti serabut. serabut terdapat dibagian kedua dibuah kelapa sawit setelah cangkang buah kelapa sawit. Sedangkan bahan bakar cangkang adalah bahan bakar padat yang berbentuk seperti batok kelapa yang terpecah – pecah. Dapat diketahui bahwa syarat bahan bakar ketel harus lah memiliki nilai kalor yang cukup untuk mengubah air menjadi uap, serta nilai kelembaban juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi boiler itu sendiri. Adapun kelembaban yang di izinkan suatu bahan bakar padat yaitu 50% dan bahan bakar itu harus memenuhi syarat kelembaban yang di izinkan [2]

Berdasarkan dari uraian singkat diatas, saya selaku penulis tertarik untuk meneliti tentang “ **Pengaruh Kelembaban Bahan Bakar Campuran Fiber Dan Cangkang Terhadap Efisiensi Boiler** ” dan mengangkat masalah ini menjadi bahan penulisan saya.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, penulis dapat mengambil beberapa rumusan masalah yang akan dihadapi pada boiler yang menggunakan bahan bakar fibre dan cangkang antara lain:

1. Berapa nilai kalor jika bahan bakar fiber dan cangkang mengalami kelembaban?
2. Berapakah efisiensi boiler apabila bahan bakar fiber dan cangkang mengalami kelembaban ?

C. Tujuan penelitian

Tujuan penulis dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis rasio kelembaban bahan bakar fiber dan cangkang serta mencari nilai kalor bahan bakar fiber dan cangkang.
2. Menghitung efisiensi boiler apabila fiber dan cangkang mengalami kelembaban.

D. Manfaat penelitian

Manfaat dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui penyebab kelembaban bahan bakar boiler campuran fiber dan cangkang dalam permasalahan yang nyata terjadi pada pabrik kelapa sawit tebing tinggi. Dan menerapkan ilmu yang telah di pelajari di bangku kuliah dan mengetahui nilai kalor pada bahan bakar fiber dan cangkang yang mengalami kelembaban serta mengetahui akibat dari kelembaban bahan bakar fiber dan cangkang terhadap boiler. Dan dapat membantu perusahaan dalam menyelesaikan masalah yang terjadi pada boiler, dan sebagai bahan pembelajaran bagi mahasiswa.

E. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Nilai kalor bahan bakar boiler fiber dan cangkang yang mengalami kelembaban akan di uji.
2. Menghitung efisiensi boiler dengan memanfaatkan data yang ada di lapangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

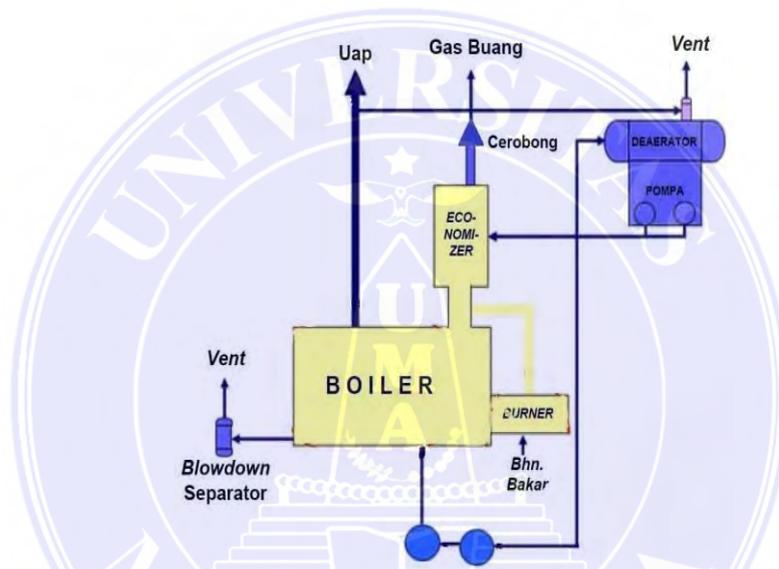
A. Pengertian Boiler

Boiler / ketel uap merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam* berupa energi kerja. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air panas atau *steam* pada tekanan dan suhu tertentu mempunyai nilai energi yang kemudian digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi *steam*, maka volumenya akan meningkat sekitar 1600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga sistem *boiler* merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem *boiler* memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan *steam* yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan-temperatur rendah (*low pressure/LP*), dan tekanan-temperatur tinggi (*high pressure/HP*), dengan perbedaan itu pemanfaatan *steam* yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin (*commercial and industrial boilers*), atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi kalor menjadi energi mekanik kemudian memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik (*power boilers*). Namun, ada juga yang menggabungkan kedua sistem *boiler* tersebut, yang memanfaatkan tekanan-temperatur tinggi untuk membangkitkan

energi listrik, kemudian sisa *steam* dari turbin dengan keadaan tekanan-temperatur rendah dapat dimanfaatkan ke dalam proses industri. [3]

Bagian utama *boiler* secara umum terdiri dari *boiler drum*, *furnace*, *burner*, *economizer*, *superheater*, *chimney* (cerobong). Selain itu juga ditunjang dengan sistem pengumpan air dan sistem bahan bakar. Gambar 2.1 berikut ini menyajikan skematis instalasi kelengkapan standar minimal yang terdapat pada sistem *boiler*.



Gambar 2.1. Skematis Instalasi Kelengkapan Standard Boiler.

Pada awal perkembangan pembangkit uap modern, ketel pipa air dikembangkan oleh George Babcock dan Stephen Wicox pada tahun 1869. Sejak awal abad dua puluh, dengan perkembangannya turbin uap yang memerlukan uap tekanan dan aliran tinggi, pengembangan ketel pipa air secara komersial menjadi semakin pesat. Dengan tekanan dan kapasitas uap yang lebih besar, ketel pipa api memerlukan diameter selongsong yang besar. Dengan diameter yang besar ini, selongsong harus beroperasi dibawah tekanan dan temperatur yang

sangat tinggi sehingga harus pipa yang tebal agar tahan terhadap tekanan dan temperature tinggi. Harganya menjadi sangat mahal.

Ketel pipa api meletakkan tekanan dalam pipa-pipa dan diameter *drum* yang relatif kecil tidak mampu meahan tekanan yang sangat tinggi seperti pada pembangkit uap modern seperti sekarang. Secara umum ketel pipa air, dalam awal perkembanganya, tampak seperti ketel pipa api namun kenyataannya berbeda, kecuali bahwa uap dan air tekanan tinggi terletak didalam pipa-pipa dan gas pembakaran terletak di luar.

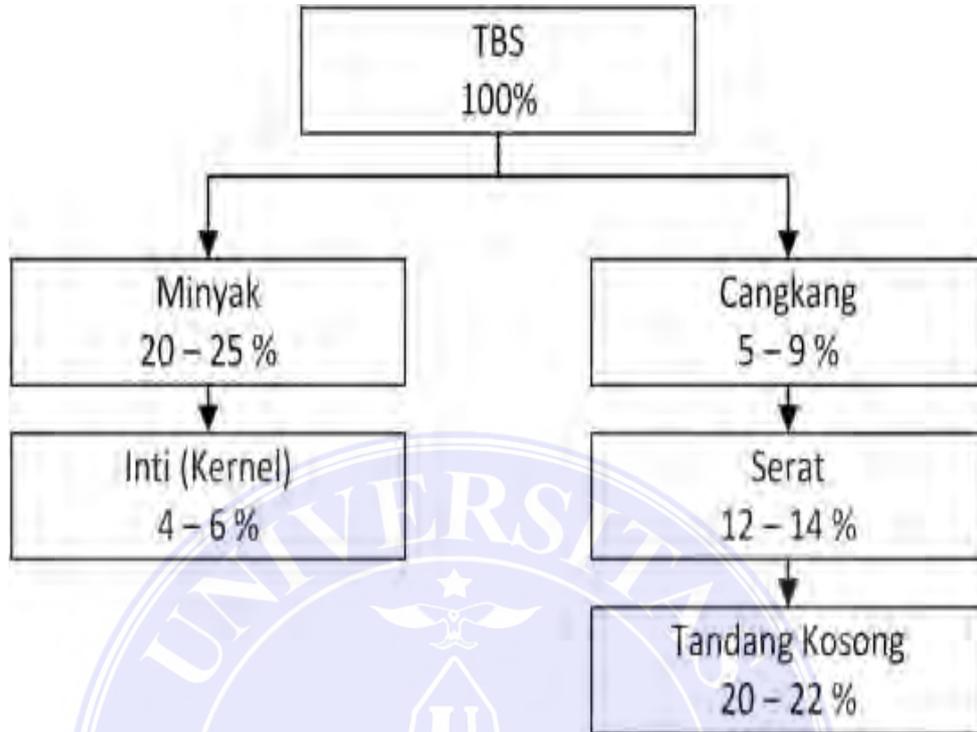
B. Kelapa Sawit

Dalam pengolahan TBS dengan mutu yang baik, dari 100% TBS, produk utama yang dihasilkan adalah berupa minyak sebanyak 20 - 25%, inti (*kernel*) sebanyak 4 - 6 %, dan produk sampingan berupa limbah yaitu cangkang (*shell*) sebanyak 5 - 9%, serat (*fiber*) sebanyak 12 - 14 %, dan tandan kosong (*empty bunch*) sebanyak 20 - 22 %. Boiler yang dipakai tipe pipa air (*water tube boiler*) dan menggunakan cangkang dan serat kelapa sawit sebagai bahan bakar [4].

C. Limbah Kelapa Sawit

Proses pengolahan pengolahan Tandan Buah Segar kelapa sawit menjadi *Crude Palm Oil* (CPO) akan menghasilkan limbah padat dan limbah cair, untuk limbah padat berupa cangkang dan serat digunakan kembali sebagai bahan bakar boiler dari 100% TBS menghasilkan produk utama berupa (CPO) dan inti kelapa sawit (*kernel*), serta produk limbah padat berupa cangkang (*shell*), serat (*fiber*) dan tandan kosong (*empty bunch*). Jumlah kandungan yang dihasilkan yang dapat

dilihat pada gambar 2.2. berikut :



Gambar 2.2. Produk Pengolahan Tandan Buah Segar Kelapa Sawit.

Limbah yang dihasilkan dari pengolahan PKS, diperlu pemanfaatan kembali produk hasil samping yang dihasilkan agar tidak menjadi beban lingkungan. Untuk cangkang dan serat digunakan kembali menjadi bahan bakar boiler.

D. Bahan Bakar Boiler

Bahan bakar adalah bahan-bahan yang digunakan dalam proses pembakaran sehari-hari, bahan bakar sangat di perlukan untuk kebutuhan sehari-hari. Bahan bakar sudah menjadi kebutuhan bagi manusia, sedangkan bahan bakar di Indonesia ini sudah semakin menipis persediaannya.

Syarat utama proses pembakaran adalah tersedia bahan-bakar yang bercampur dengan baik dengan udara dan tercapainya suhu pembakaran. Bahan bakar yang di pergunakan dapat di klasifikasikan dalam tiga kelompok yakni

bahan bakar berbentuk cair, gas dan padat. Bahan bakar gas sering digunakan di tempat-tempat yang banyak menghasilkan gas yang ekonomis dipakai pada saat memasak, yakni gas alam, gas dapur kokas, gas dapur tinggi, dan gas dari pabrik gas.

Bahan bakar cair diperoleh dari minyak bumi yang dalam kelompok ini ialah bensin dan minyak bakar, kemudian kerosin dan bahan bakar padat.

Beberapa sifat utama bahan bakar yang perlu diperhatikan ialah :

1. Mempunyai nilai bakar tinggi.
2. Mempunyai kesanggupan menguap pada suhu rendah .
3. Uap bahan bakar harus dapat dinyatakan dan terbakar seger dalam campuran dengan perbandingan yang cocik terhadap oksigen.
4. Bahan bakar dan hasil pembakarannya tidak beracun atau membahayakan kesehatan.
5. Harus dapat diangkut dan disimpan dengan aman dan mudah.

Ada beberapa jenis bahan bakar yaitu sebagai berikut:

1. Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tak rapat, berbeda dengan bahan bakar padat, seperti contoh Bensin/ gasolin, premium, minyak tanah, ataupun minyak solar. Bahan bakar cair ini sering sekali di gunakan oleh masyarakat sebagai bahan bakar untuk transportasidan masih banyak lagi kegunaan bahan bakar cair. Bahan bakar cair ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3. Contoh Bahan Bakar Cair.

2. Bahan Bakar Gas

Bahan bakar gas adalah bahan bakar yang sering digunakan di tempat – tempat yang banyak menghasilkan gas, yang ekonomis dipakai yakni gas alam, gas dapur kokas, gas dapur tinggi dan gas dari pabrik gas. Serta ada dua type, yaitu Compressed Alami Gas (CNG) serta Liquid Petroleum Gas (LPG). Yang Sering sekali kita jumpai bahan bakar gas dengan type Liquid Petroleum Gas (LPG). LPG sendiri sudah menjadi pengganti bahan bakar minyak bagi kebutuhan rumah tangga, seperti memasak. Bahan bakar gas ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4. Contoh Bahan Bakar Gas.

3. Bahan Bakar Padat

Bahan bakar padat adalah bahan bakar yang secara fisik berupa padat dan biasanya menjadi sumber daya panas atau bahan bakar cair yang diperoleh dari bumi yang dalam kelompok ini adalah bensin dan minyak bakar kemudian dikerosin. Seperti contohnya kayu serta batubara. Daya panas yang dihasilkan dapat dipakai untuk memanaskan air menjadi uap untuk menggerakkan peralatan. Contoh bahan bakar padat ditunjukkan pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5. Contoh Bahan Bakar Padat.

Bahan bakar adalah bahan yang dapat dibakar untuk menghasilkan panas (kalor). Proses pembakaran merupakan proses kimia antara bahan bakar, udara dan panas. Proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar ketel (boiler) bertujuan untuk merubah fasa air menjadi fasa uap. Berbagai jenis bahan bakar diatas (seperti bahan bakar cair, padat, dan gas) yang tersedia tergantung pada berbagai faktor seperti biaya, ketersediaan, penyimpanan, handling, polusi dan peletakan boiler, tungku dan peralatan pembakaran lainnya. [5]

Pengetahuan mengenai sifat bahan bakar membantu dalam memilih bahan bakar yang benar yang akan digunakan untuk menentukan bahan bakar layak atau

tidak untuk digunakan 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 tiga insure, yaitu : Bahan bakar Oksigen Suhu untuk memulai pembakaran Panas (kalor) yang timbul karena pembakaran bahan bakar tersebut disebut hasil pembakaran atau nilai bakar (*heating value*)

Cangkang (*Eggshell*), merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pemrosesan karnel inti sawit dengan bentuk seperti tempurung kelapa namun berbentuk kecil. Setiap pengolahan 1 ton TBS menghasilkan 50-90 kg atau 5-9 % dari hasil pengolahan TBS per ton, cangkang yang dihasilkan lebih sedikit dari serabut atau serat kelapa sawit dan cangkang mengandung nilai kalor yang lebih besar dari serat. adapun bentuk dari cangkang kelapa sawit ditunjukkan pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6. Cangkang Kelapa Sawit.

Serat (*Fiber*), adalah limbah sawit yang dihasilkan dari hasil pengolahan pemerasan buah sawit pada saat proses tekanan (*Press*) yang berbentuk pendek seperti serabut benang dan berwarna kuning kecoklatan. Setiap pengolahan 1 ton TBS menghasilkan 120-140 kg atau 12-14% dari hasil pengolahan TBS per ton.

Serat lebih banyak dihasilkan dari pada cangkang kelapa sawit dan bahan bakar serat ini lebih kecil nilai kalornya dibandingkan dengan cangkang kelapa sawit. Adapun bentuk dari serabut kelapa sawit ditunjukkan pada gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7. Serabut Buah Kelapa Sawit.

Bahan bakar yang akan digunakan untuk boiler yaitu campuran *fiber* dan cangkang yang harus dikurangi kadar airnya, pengurangan kadar air ini kita lakukan dengan cara manual yaitu dijemur di bawah sinar matahari. Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui banyaknya kandungan air pada briket. Prosedur pengujian kadar air mengikuti prosedur pada SNI No. 06-3730-1995.

Pada prinsipnya adalah bahwa air akan menguap pada pemanasan di atas 1000 C. Kadar air pada campuran *fiber* dan cangkang perlu diketahui karena kadar air yang banyak pada campuran *fiber* dan cangkang berpengaruh terhadap nilai kalor. Semakin kecil kadar air maka semakin bagus nilai kalornya, karena kadar air yang banyak pada campuran *fiber* dan cangkang akan mengakibatkan sulit dinyalakan atau dengan kata lain akan sulit digunakan sebagai bahan bakar.

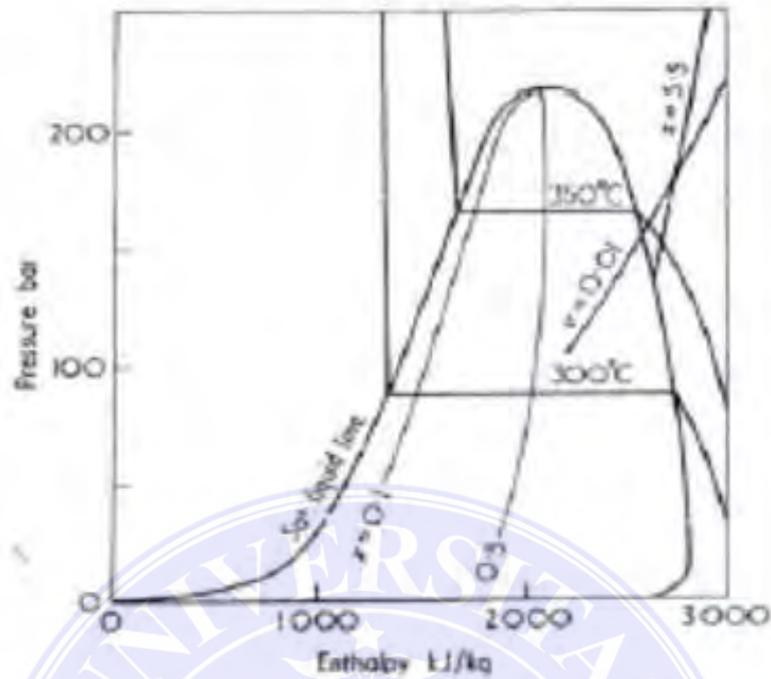
E. Proses Pembentukan Uap

Bila panas diberikan pada suatu zat pada tekanan konstan, maka biasanya, hasilnya adalah kenaikan temperatur zat. Namun, kadang-kadang zat dapat menyerap panas dalam jumlah yang besar tanpa mengalami perubahan apapun pada temperaturnya.

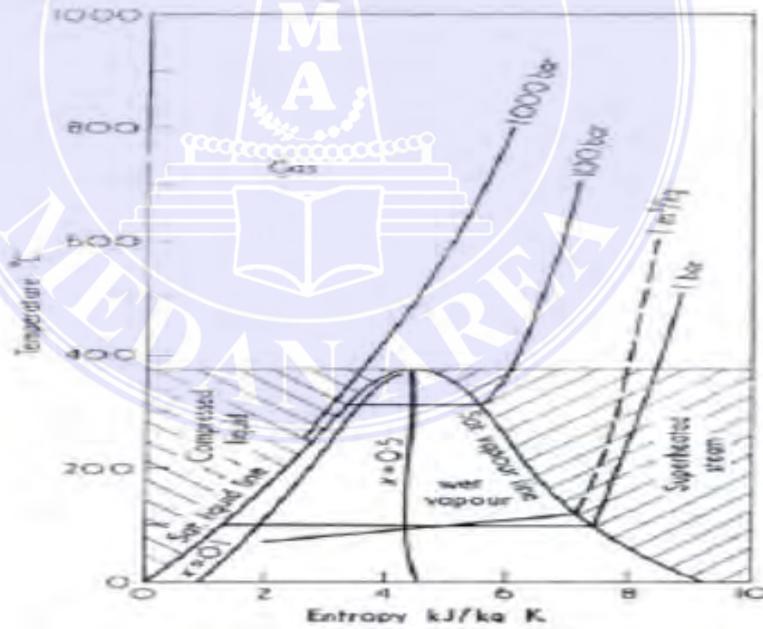
Air diberikan energi panas dengan tekanan yang konstan, temperaturnya akan naik dan air akan mendidih. Panas ini dikenal dengan *sensible heat*. Temperatur air pada titik ini dinamakan temperatur jenuh, tekanan yang diberikan air disebut tekanan jenuh, dan uap yang dihasilkan merupakan uap basah.

Air diubah menjadi uap pada temperatur konstan dan energi yang diberikan selama terjadinya perubahan fase ini dikenal dengan entalpi uap dikenal dengan diagram $p-h$. seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.8, dan panas yang diperlukan untuk merubahnya dikatakan panas laten. Uap yang tidak lagi mengandung air dikatakan uap jenuh (uap kering), yang apabila dipanasi terus-menerus dengan tekanan konstan akan menghasilkan uap dengan temperatur diatas titik jenuhnya.

Uap ini dinamakan uap *superheated*. Uap superhead adalah uap atau steam uap panas lanjut yang benar-benar berpase gas, Gambar 2.9 memperlihatkan bentuk umum dari diagram temperatur entropi, dan dikenal dengan diagram $T-s$.



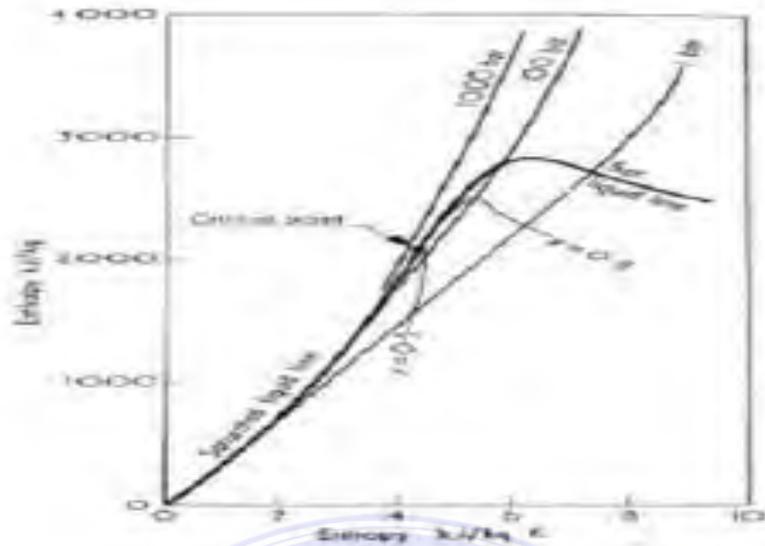
Gambar 2.8. Grafik Diagram P-H (*Pressure - Enthalpy*).



Gambar 2.9. Grafik Diagram T-S (*Temperature – Entropy*).

Bentuk umum dari diagram entalpi – entropi ditunjukkan pada gambar

2.10 dibawah.



Gambar 2.10. Grafik Diagram (Enthalpy – Entropy HS).

Pemanasan uap *superheated* di atas temperatur titik kritisnya tekanan sebesar 22 bar 3206 psi dan temperatur sebesar 374 °C (705,4 °F) akan menghasilkan gas. Sebagai contoh, pada tekanan konstan panas yang ditransmisikan dari uap *superheated* temperturnya akan menurun hingga telah mencapai titik jenuhnya. Pada keadaan ini temperturnya akan tetap konstan sampai keseluruhan uap dikondensasikan.

Titik didih suatu cairan atau dikenal juga dengan temperatur saturasi adalah temperatur dimana tekanan uap cairan sama dengan tekanan lingkungan sekitar cairan tersebut. Pada titik ini cairan akan berubah fase menjadi uap. Temperatur saturasi dari air pada tekanan atmosfer adalah 100°C. Pada titik inilah air akan berubah fase menjadi uap dengan membentuk gelembung-gelembung uap air. [3]

Temperatur saturasi menjadi sebuah fungsi yang unik dari tekanan. Semakin tinggi tekanan di sekitar air maka akan semakin tinggi pula titik didihnya, dan apabila semakin rendah tekanan di sekitar air tersebut maka semakin rendah pula titik didih.

F. Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Panas disuplai secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai fluida yang bergerak. Siklus ini menghasilkan 80% dari seluruh energi listrik yang dihasilkan di seluruh dunia. Siklus ini dinamai untuk mengenang ilmuwan Skotlandia, William John Maquorn Rankine.

Siklus Rankine adalah model operasi mesin uap panas yang secara umum ditemukan di pembangkit listrik. Sumber panas yang utama untuk siklus Rankine adalah batu bara, gas alam, minyak bumi, nuklir, dan panas matahari.

Siklus Rankine kadang-kadang diaplikasikan sebagai siklus Carnot, terutama dalam menghitung efisiensi. Perbedaannya hanyalah siklus ini menggunakan fluida yang bertekanan, bukan gas. Efisiensi siklus Rankine biasanya dibatasi oleh fluidanya. Tanpa tekanan yang mengarah pada keadaan super kritis, range temperatur akan cukup kecil.

Uap memasuki turbin pada temperatur 565°C (batas ketahanan stainless steel) dan kondenser bertemperatur sekitar 30°C . Hal ini memberikan efisiensi Carnot secara teoritis sebesar 63%, namun kenyataannya efisiensi pada pembangkit listrik tenaga batu bara sebesar 42%.

Fluida pada Siklus Rankine mengikuti aliran tertutup dan digunakan secara konstan. Berbagai jenis fluida dapat digunakan pada siklus ini, namun air dipilih karena berbagai karakteristik fisika dan kimia, seperti tidak beracun, terdapat dalam jumlah besar, dan murah.

G. Nilai Kelembaban (*Humidity Value*)

Humidity Value bahan bakar adalah nilai kadar air yang ada di bahan bakar, nilai kadar air yang ada di bahan bakar sangat berpengaruh dengan efisiensi boiler karna nilai kalor yang di hasilkan bahan bakar menurun akibat kelembaban, Adapun kelembaban yang di izinkan suatu bahan bakar padat yaitu 50% dan bahan bakar itu harus memenuhi syarat kelembaban yang di izinkan. nilai kalor adalah energi kalor yang di lepaskan bahan bakar atau jumlah energy panas yang terlepas untuk tiap satu satuan massa. [4]

Nilai pembakaran ditentukan oleh komposisi kandungan energi di dalam bahan bakar. Dikenal dua jenis pembakaran 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:

$$\text{HHV} = 33950 C + 144200 (\text{H}_2 - \text{O}_2/8) + 9400 S \text{ (kJ/Kg)} \dots\dots\dots (\text{Pers.2.1.})$$

dimana :

HHV = Nilai kalor atas (kJ/Kg)

H₂ = Persentase Hidrogen dalam bahan bakaar (%)

O₂ = Persentase Oksigen dalam bahan bakaar (%)

S = Persentase Sulfur dalam bahan bakaar (%)

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:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2411 (9\text{H}_2) \text{ (kJ/Kg)} \dots\dots\dots (\text{Pers.2.1.})$$

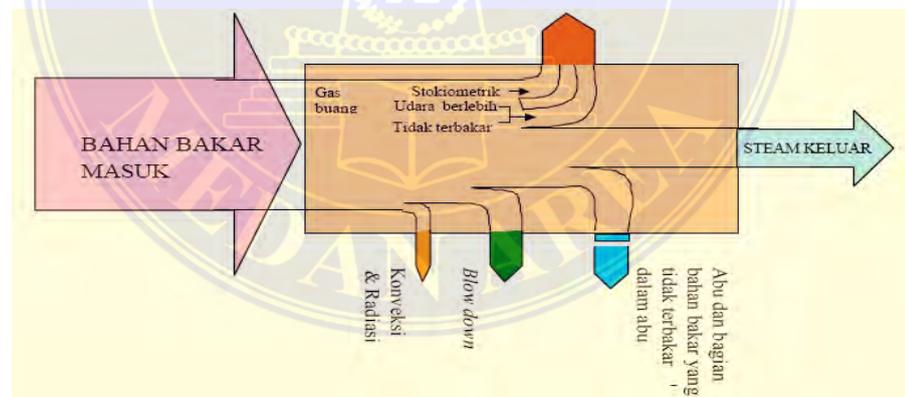
dimana :

$$\text{LHV} = \text{Nilai kalor bawah (kJ/Kg)}$$

$$\text{H}_2 = \text{Fraksi masa Hidrogen dalam bahan bakaar (\%)}$$

H. Neraca Panas

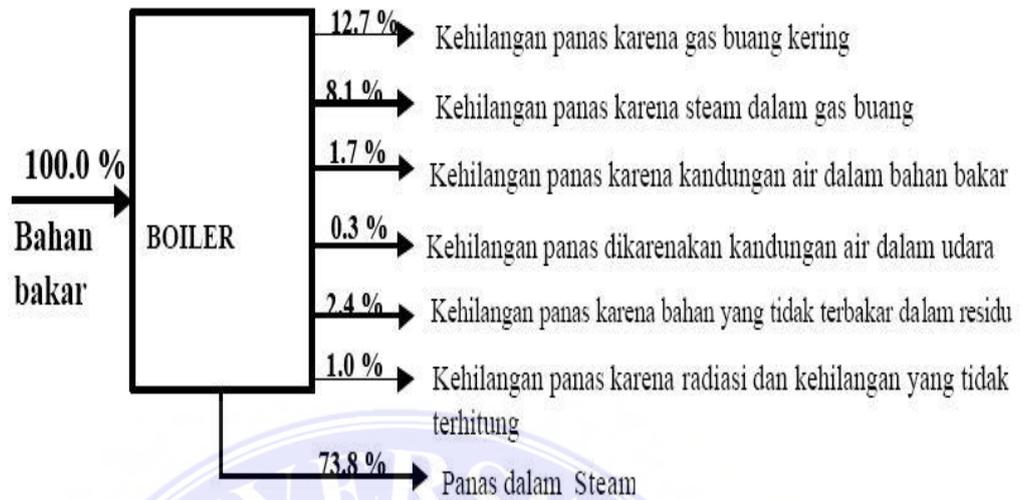
Proses pembakaran dalam boiler dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir energy. Diagram ini menggambarkan bagaimana energi masuk dari bahan bakar diubah menjadi energy yang digunakan, panas dan panas yang hilang. Panah tebal menunjukkan jumlah energy yang dikandung dalam aliran masing-masing ditunjukkan pada gambar 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.11. Diagram Alir proses Boiler.

Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk boiler terhadap yang meninggalkan boiler dalam bentuk yang berbeda gambar diatas menunjukkan diagram alir proses boiler. Dan pada gambar 2.12 berikut memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi untuk pembangkitan steam atau boiler dimana beberapa kehilangan di tunjukkan pada gambar berikut

dibawah ini.



Gambar 2.12. Kehilangan Energi.

Kehilangan energi dapat dibagi kedalam kehilangan yang tidak atau dapat dihindarkan. Tujuan dari Produksi Bersih dan/atau pengkajian energi harus mengurangi kehilangan yang dapat dihindari, dengan meningkatkan efisiensi energi. Kehilangan berikut dapat dihindari atau dikurangi:

Kehilangan gas cerobong:

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

I. 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 yaitu campuran fiber dan cangkang. 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:

$$\eta = \frac{\dot{m} (h_3 - h_1)}{m_f \times LHV} \times 100\% \dots\dots\dots \text{(Pers.2.3)}$$

dimana :

- η = Efisiensi
- \dot{m} = kapasitas produksi uap (kg uap/s)
- m_f = konsumsi bahan bakar (kg/s)
- h_3 = entalpi uap (KJ/Kg)
- h_1 = entalpi air umpan/pengisi ketel (KJ/Kg)
- LHV = nilai kalor pembakaran rendah (KJ/Kg)

a. Keuntungan metode langsung

- 1). Pekerja pabrik dapat dengan cepat mengevaluasi efisiensi boiler
- 2). Memerlukan sedikit parameter untuk perhitungan
- 3). Memerlukan sedikit instrumen untuk pemantauan
- 4). Mudah membandingkan rasio penguapan dengan data *Benchmark*

b. Kerugian metode langsung

- 1). Tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari efisiensi sistem yang lebih rendah
- 2). Tidak menghitung berbagai kehilangan yang berpengaruh pada berbagai tingkat efisiensi.

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 TestCode Steam*. Metode tidak langsung juga dikenal dengan metode kehilangan panas dimana metode ini Efisiensi dapat dihitung dengan mengurangi bagian kehilangan panas dari 100 dengan rumus berikut:

$$\eta = 100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii) \times 100\% \dots \dots \dots (\text{Pers.2.4.})$$

dimana:

η = Efisiensi

I = Gas cerobong yang kering

ii= Penguapan air yang terbentuk karena H₂ dalam bahan bakar

iii = Penguapan kadar air dalam bahan bakar

- iv = Adanya kadar air dalam udara pembakaran
- v = Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/ *fly ash*
- vi = Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/ *bottom ash*
- vii = Radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung

Kehilangan yang diakibatkan oleh kadar air dalam bahan bakar dan yang disebabkan oleh pembakaran hidrogen tergantung pada bahan bakar, dan tidak dapat dikendalikan oleh perancangan. Data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi boiler dengan menggunakan metode tidak langsung adalah:

- a. Analisis *ultimate* bahan bakar (H₂, O₂, S, C, kadar air, kadar abu)
 - b. Persentase oksigen atau CO₂ dalam gas buang
 - c. Suhu gas buang dalam °C (T_f)
 - d. Suhu awal dalam °C (T_a) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering
 - e. LHV bahan bakar dalam kkal/kg
 - f. Persentase bahan yang dapat terbakar (untuk bahan bakar padat)
 - g. LHV abu dalam kkal/kg (untuk bahan bakar padat).
- a. Keuntungan metode tidak langsung
 - 1). Dapat diketahui neraca bahan dan energi yang lengkap untuk setiap aliran
 - 2). Dapat memudahkan dalam mengidentifikasi opsi-opsi
 - 3). Dapat meningkatkan efisiensi boiler.
 - b. Kerugian metode tidak langsung
 - 1). Perlu waktulama
 - 2). Memerlukan fasilitas laboratorium untuk analisis.

Untuk penyusunan skripsi ini penulis menganalisa dengan metode langsung, dimana penulis mengambil data secara langsung dilapangan 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)

J. Kebutuhan Udara Pembakaran

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

1. Kebutuhan udara teoritis (U_t) : $U_t = 11,5 C + 34,5 (H-O/8) + 4,32 S$ kg/kg
2. Kebutuhan udara pembakaran sebenarnya/aktual (U_s) : $U_s = U_t (1+\alpha)$ kg/kg

K. Gas Asap

Reaksi pembakaran akan menghasilkan gas baru, udara lebih dari sejumlah energi. Senyawa-senyawa yang merupakan hasil dari reaksi pembakaran disebut gas asap. Berat gas asap teoritis (G_t) $G_t = U_t + (1-A)$ kg/kg dimana $A =$ kandungan abu dalam bahan bakar (ash) Gas asap yang terjadi terdiri dari:

1. Unsur N_2 dari udara yang tidak ikut bereaksi
2. Sisa kelebihan udara

Dari reaksi pembakaran sebelumnya diketahui:

1. Unsur Carbon dalam 1 kg C menghasilkan 3,66 kg CO_2
2. Unsur Sulfur dalam 1 kg S menghasilkan 1,996 kg SO_2
3. Unsur Hidrogen dalam 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 yaitu :

1. Berat $\text{CO}_2 = 3,66 C \text{ kg/kg}$
2. Berat $\text{SO}_2 = 2 S \text{ kg/kg}$
3. Berat $\text{H}_2\text{O} = 9 H_2 \text{ kg/kg}$
4. Berat $\text{N}_2 = 77\% U \text{ kg/kg}$
5. Berat $\text{O}_2 = 23\% U \text{ kg/kg}$

Dari perhitungan di atas maka akan didapatkan jumlah gas asap :

1. Berat gas asap (G_s) = $W \text{ CO}_2 + W \text{ SO}_2 + W \text{ H}_2\text{O} + W \text{ N}_2 + W \text{ O}_2$
2. Berat gas asap sebenarnya (G_s) = $U_s + (1-A) \text{ kg/kg}$
3. Kadar gas = $(W \text{ gas tersebut} / W \text{ total gas}) \times 100\%$.

L. Volume Gas Asap

Jumlah oksigen adalah 21% jumlah udara pembakaran. Jadi: $V(\text{O}_2) = 21\%$ (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 Parameter yang dipantau untuk perhitungan efisiensi boiler dengan metode langsung adalah :

- 1). Jumlah steam yang dihasilkan per jam (\dot{m}) dalam kg uap/jam
- 2). Jumlah bahan bakar yang digunakan perjam (W_f) dalam kg/jam
- 3). Tekanan kerja (dalam kg/cm^2) dan suhu lewat panas ($^{\circ}\text{C}$), jika ada
- 4). Suhu air umpan ($^{\circ}\text{C}$)
- 5). Jenis bahan bakar dan nilai panas kalor bahan bakar (LHV) dalam KJ/Kg bahan bakar:

$$V_g = \frac{1,866 C + 0,7 S}{0,11} 1,24 (9 H_2) m^3/kg \dots\dots\dots (Pers.2.5.)$$

di mana:

V_g = Volume Gas Asap ($m^3/kgBB$)

C = Nilai Carbon Bahan Bakar

S = Nilai Sulfur Bahan Bakar

H_2 = Nilai Hidrogen Bahan Bakar

M. Kebutuhan Panas Boiler

Kebutuhan panas boiler adalah proses air menjadi uap, dimana Boiler membutuhkan panas (*kalor*) yang cukup untuk mengubah air menjadi uap. Panas tersebut dihasilkan dari bahan bakar campuran fiber dan cangkang yang mempunyai nilai kalor yang dibutuhkan oleh boiler untuk mengubah air menjadi uap. Untuk menghitung kebutuhan panas yang dibutuhkan boiler digunakan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{\dot{m} (h_3 - h_1)}{\eta} \dots\dots\dots (Pers. 2.6.)$$

dimana:

Q : Kebutuhan Panas Boiler (KJ/s)

\dot{m} : Laju Aliran Massa Uap (Kg/s)

h_3 : Enthalpi Uap Keluar (KJ/Kg)

h_1 : Enthalpi Air Umpan (KJ/Kg)

η : Efisiensi Boiler

N. Konsumsi Bahan Bakar Boiler

Konsumsi bahan bakar merupakan jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam boiler (Kg/s), Untuk mencari nilai (LHV) maka didapatkan konsumsi bahan bakar. Adapun rumus untuk mencari kebutuhan bahan bakar adalah sebagai berikut:

$$m_f = \frac{Q}{LHV} \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.7.)}$$

dimana:

m_f = Konsumsi Bahan Bakar (Kg/s)

Q = Kebutuhan Panas Boiler (KJ/Kg)

LHV = Nilai Kalor Pembakaran Rendah (KJ/Kg)

O. Perhitungan Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler adalah perbandingan antara konsumsi dengan suplai panas.

$$\eta = \frac{\dot{m} (h_3 - h_1)}{m_f \times LHV} \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.8.)}$$

dimana:

h =Efisiensi Boiler

\dot{m} = Kapasitas Produksi Uap (Kg uap/s)

m_f = Konsumsi Bahan Bakar (Kg/s)

h_3 = Entalpi Uap (KJ/Kg)

h_1 = Entalpi Air Umpan/Pengisi Ketel (KJ/Kg)

LHV = Nilai Kalor Pembakaran Rendah (KJ/Kg)

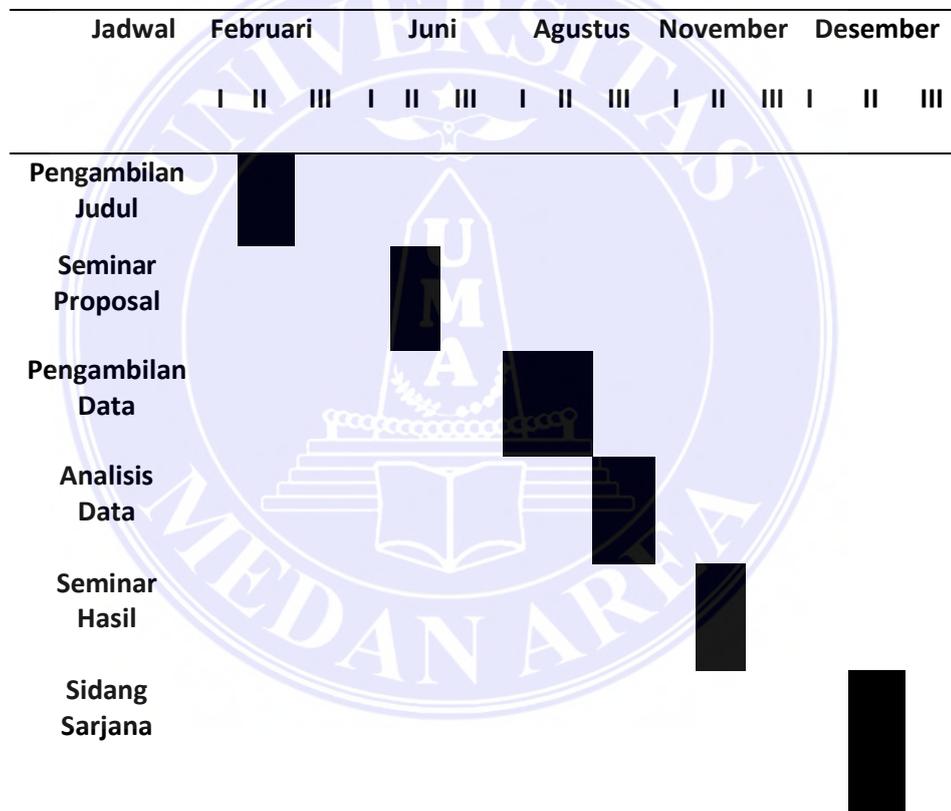
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

1. Waktu

Penelitian ini dilakukan mulai 6 Agustus- 6 September 2020 pengambilan data di pabrik kelapa sawit pada setiap hari senin – jumat.

Tabel 3.1. Jadwal Penelitian.



2. Tempat

Tempat penulis melakukan penelitian dilaksanakan di PT Perkebunan Nusantara III PKS Rambutan Tebing Tinggi, Sumatra Utara.

B. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian pengaruh kelembaban bahan bakar campuran boiler Fiber dan cangkang ada 2 yaitu alat ukur kelembaban dan alat ukur nilai kalor.

1. Alat Pengukur Kelembaban FOSS NIRS DA

Alat pengukur kadar air, minyak, dan kotoran yang biasa digunakan di pabrik kelapa sawit, Foss Nirs Da alat ini dapat mengukur kelembaban bahan bakar boiler fiber dan cangkang, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1. Alat Ukur Kelembaban.

2. Bomkalori Meter

Bomkalori meter, yaitu alat yang digunakan untuk mencari nilai kalor dari suatu bahan. Bahan yang akan diuji adalah bahan bakar ketel yaitu *fiber* dan cangkang. Berikut alat bomkalori meter ditunjukkan pada gambar 3.2 sebagai berikut.



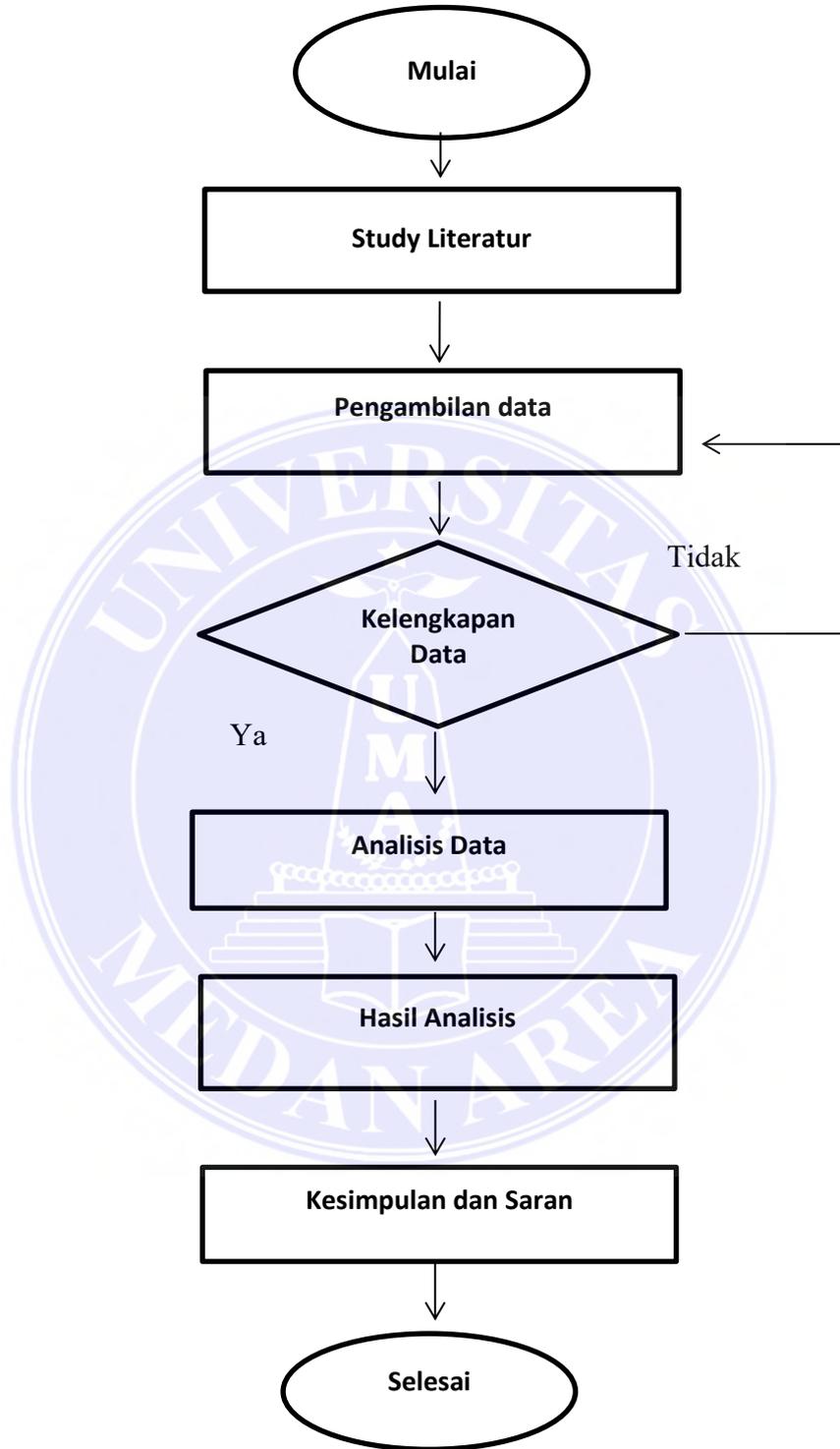
Gambar 3.2. Bomkalori Meter.

C. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini penulis melakukan pengambilan data di pabrik kelapa sawit PTPN III. Metode / Langkah-langkah yang digunakan penulis untuk melakukan penelitian Pengaruh Kelembaban Bahan Bakar Campuran Fiber Dan Cangkang Terhadap Efisiensi Boiler adalah sebagai berikut :

1. Sebelum melakukan pengambilan data di laboratorium terlebih dahulu mengambil bahan yang akan di uji yaitu bahan bakar boiler fiber dan cangkang.
2. Selanjutnya melakukan pengujian kelembaban dan nilai kalor menggunakan alat Foss Nirs Da 1650 dan bomkalori meter.
3. Lalu melakukan pengambilan data boiler yaitu laju aliran uap, enthalpi air masuk dan enthalpi uap keluar.
4. Setelah pengambilan data boiler, data nilai kelembaban dan nilai kalor bahan bakar dan selanjutnya menganalisis data.

Diagram alir di bawah merupakan langkah dalam menyelesaikan tugas akhir ini.



Gambar 3.3. diagram alir

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan analisa maka dapat disimpulkan :

1. Nilai LHV atau kalor bawah bahan bakar boiler yang mengalami kelembaban memiliki nilai kalor yang berbeda, dimana nilai kelembaban bahan bakar boiler *fiber* dan cangkang 71% memiliki nilai LHV 17838,48 KJ/Kg sedangkan kelembaban 48% memiliki nilai LHV 20044,373 KJ/Kg.
2. Jumlah pemakaian bahan bakar terbanyak terdapat pada efisiensi 66% dengan rasio kelembaban mencapai 71% dengan LHV 17838,48 KJ/Kg dan pemfakaan bahan bakar 0,34 kg/s dan jumlah pemakaian bahan bakar paling sedikit terdapat pada efisiensi 75% dengan rasio kelembaban 48% dengan LHV 20044,373 KJ/Kg dan pemakaian bahan bakar 0,30 kg/s.

B. Saran

Adapun saran – saran yang dapat di ajukan untuk menyempurnakan penelitian pengaruh kelembaban bahan bakar campuran *fiber* dan cangkang terhadap efisiensi boiler serta prngaruhnya bagi boiler adalah :

1. Untuk mengurangi penurunan efisiensi boiler dan mengurangi jumlah pemakaian bahan bakar pada boiler sebaiknya melakukan pengontrolan kelembaban bahan bakar agar tidak terlalu tinggi kadar air pada bahan bakar dan hindari bahan bakar terkena hujan. Selisih bahan bakar boiler dengan efisiensi 64% dan 73% perdetiknya mencapai 0,035 kg/s sedangkan

perjamnya mencapai 124 kg/jam maka sebaiknya selalu perhatikan kadar air pada bahan bakar.

2. Solusi agar bahan bakar tidak terlalu besar kelembabannya sebaiknya jangan menumpuk bahan bakar dan melakukan pengeringan terhadap bahan bakar agar efisiensi boiler tetap terjaga dan pemakaian bahan bakar tidak boros.



DAFTAR PUSTAKA

1. K. Maulana, Lukman, F. Burhanuddin and A. S. Sanjaya, "Analisa Efisiensi Water Tube Boiler Berbahan Bakar Fiber dan Cangkang di Palm Oil Mill Kapasitas 60 Ton Tbs/Jam dengan Menggunakan Chemicalogic Steamtab Companion Version 2.0," *Chemica Volume 3, Nomor 2, Desember 2016, 46-54 ISSN: 2355-8776*, p. 47, 2016.
2. T. B. Frickle, Buku Panduan Pabrik Kelapa Sawit Skala Kecil Untuk Produksi Bahan Baku Bahan Bakar Nabati, USAID INDONESIA , 2009.
3. M. Fatimura, "TINJAUAN TEORITIS PERMASALAHAN BOILER FEED water pada pengoprasian boiler yang di pergunakan dalam industri," *JURNAL MEDIA TEKNIK VOL. 12, NO.1: 2015*, p. 25, 2015.
4. I. S. A. Muin, Pesawat- pesawat Konversi Energi 1 (Ketel Uap), 1998, p. 160.
5. p. k. s. rambutan, database mesin/peralatan pabrik kelapa sawit rambutan, tebing, periode juni 2015.
6. P. B, T. Sitepu, F. H. Napitupulu, S. Gultom and P. G. Sembiring, "Analisa Efisiensi Water Tube Boiler Berbahan Bakar fiber dan cangkang di palm oil mill dengan kapasitas 45 Ton Tbs/jam," *Jurnal e-Dinamis, Volume.5, No.3 September 2017*, p. 61, 2017.
7. Napitupulu and f. H, *Pengaruh Nilai Kalor (Heating Value) Suatu Bahan Bakar Terhadap Perencanaan Volume Ruang Bakar Ketel Uap Berdasarkan Metode Penentuan Nilai Kalor Bahan*, 2006.
8. C. A. Basuki, *Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Menggunakan Metode Least Square*, 2011.
9. t. ginanjar, *ANALISA KEBUTUHAN BAHAN BAKAR BOILER DENGAN MELAKUKAN UJI KALORI PADA PABRIK KELAPA SAWIT PT. SENTOSA PRIMA AGRO*, p. 4, 2019.
10. D. Pertanian, *Pedoman pengelolaan limbah industri kelapa sawit*, 2006.
11. N. Fuhaid, *Bahan Bakar dan Kinerja Motor listrik*, p. 27, 2011.
12. M. Y. S.W, *BAHAN BAKAR BOILER*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111.
13. K. Maulana, *Analisa Efisiensi Water Tube Boiler Berbahan Bakar Fiber dan Cangkang di Palm Oil Mill Kapasitas 60 Ton Tbs/Jam dengan Menggunakan Chemicalogic Steamtab Companion Version 2.0*, Jakarta.

