

**ANALISA UNJUK KERJA *BOILER* KAPASITAS 30 TON  
UAP/JAM DENGAN MENGGUNAKAN CAMPURAN BAHAN  
BAKAR *FIBER* DAN *SHELL***

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin*

*Pada Fakultas Teknik*

*Universitas Islam Riau*

**Oleh :**

**Hafiz Maulana**

**143310264**



**HALAMAN PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISA UNJUK KERJA BOILER KAPASITAS 30 TON UAP/JAM  
MENGUNAKAN CAMPURAN BAHAN BAKAR  
FIBER DAN SHELL**

**Disusun Oleh :**

**HAFIZ MAULANA**  
14.331.0264

**Telah Diuji Didepan Dewan Penguji Pada Tanggal  
06 Mei 2020 dan Dinyatakan  
Telah Memenuhi Syarat Diterima**

**Disetujui oleh :**

**Pembimbing I**

  
**EDDY ELFIANO, ST., M.Eng**  
NIDN. 1025057501

**Pembimbing II**

  
**SEHAT ABDI SARAGIH, ST., MT**  
NIDN. 1012107502

**Disahkan Oleh :**

**Pekanbaru, Mei 2020  
Ketua Program Studi  
Teknik Mesin**

  
**DODY YULIANTO, ST., MT**  
NIDN. 1029077302

## PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya mengatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang saya lakukan untuk Tugas Akhir dengan judul “*Analisa Unjuk Kerja Boiler Kapasitas 30 Ton Uap/jam Menggunakan Campuran Bahan Bakar Fiber Dan Shell*” yang diajukan guna melengkapi syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Adalah merupakan hasil penelitian dan karya ilmiah saya sendiri dengan bantuan dosen pembimbing dan bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang telah dipublikasikan dan atau pernah digunakan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Islam Riau (UIR) maupun Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali pada bagian yang sumber informasinya telah dicantumkan sebagaimana mestinya.

Pekanbaru, Mei 2020



**HAFIZ MAULANA**

**NPM : 14.331.0264**

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum, Wr. Wb.

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT. Atas segala limpahan dan rahmat, nikmat dan karunia-Nya yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan **judul “Analisa Unjuk Kerja Boiler Kapasitas 30 Ton Uap/jam Dengan Menggunakan Campuran Bahan Bakar Fiber Dan Shell”** dengan lancar tanpa adanya kendala yang berarti. Adapun tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar Strata Satu (S1) Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau. Selain itu penulisa Tugas Akhir ini juga bertujuan agar mahasiswa bisa berfikir secara logis dan ilmiah serta bisa menuangkan pemikirannya secara sistematis dan terstruktur.

Penulis menyadari bahwa selesainya penulisa Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin berterimakasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini, khususnya kepada :

1. Kedua orang tua tercinta ayahanda M.Imran Hasibuan dan ibunda Suyanti, yang telah banyak memberikan do'a yang terbaik untuk anaknya, motivasi untuk terus semangat dan dukungannya baik moral maupun material.

2. Bapak Dr. Eng. Muslim, MT Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
3. Bapak Dody Yulianto, ST, MT. Selaku ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dedikarni, ST.,MSc Selaku sekretaris Program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
5. Bapak Eddy Elfiano, ST, M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Bapak Sehat Abdi Saragih, ST.,MT. selaku Dosen Pembimbing II dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen yang telah memberikan ilmu Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
8. Seluruh rekan – rekan mahasiswa Teknik Mesin khususnya angkatan 2014 yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Adanya saran dan kritik yang membangun untuk kedepannya bagi penulis sangat diharapkan. Semoga bermanfaat.

Terimakasih

**Wassalamu'alaikum, Wr. Wb**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>DAFTAR ASISTENSI</b>	
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Ketel uap ( <i>boiler</i> ).....	5
2.2 Klasifikasi Ketel Uap.....	6
2.3 Komponen Utama <i>Boiler</i> .....	9
2.3.1 Tungku Pengapian ( <i>Furnace</i> ).....	9
2.3.2 Dearator.....	10

2.3.3	<i>Feed Water Tan</i> .....	11
2.3.4	Drum Ketel Atas.....	11
2.3.5	Drum ketel Bawah.....	12
2.3.6	Pipa <i>water wall</i> .....	13
2.3.7	Pembuangan Abu ( <i>AshHopper</i> ).....	14
2.3.8	Cerobong Asap ( <i>Chimney</i> ).....	15
2.4	Fungsi Ketel Uap.....	15
2.5	Proses Pembentukan Uap.....	16
2.6	Sirkulasi Air Pada <i>Boiler</i> .....	18
2.8	Kelebihan Udara ( <i>Exces Air</i> ).....	19
2.9	Siklus <i>Rankine</i> .....	21
2.9.1	Proses Siklus <i>Rankine</i> .....	22
2.10	ParameterUnjuk Kerja <i>Boiler</i> .....	24
2.10.1	Komposisi Bahan Bakar Campuran.....	25
2.10.2	Konsumsi Bahan Bakar.....	25
2.10.3	Konsumsi Udara Pembakaran.....	26
2.10.4	Produksi Gas Asap.....	26
2.10.5	Volume Gas Asap.....	28
2.10.6	Kebutuhan Panas Untuk Pembentukan Uap Saturasi.....	29

2.10.7 Perhitungan Temperatur.....	30
2.10.8 Keseimbangan Panas.....	33
2.10.9 Efisiensi <i>Boiler</i> .....	33
2.11 Bahan Bakar <i>Boiler</i> .....	34
2.12 Proses Pembakaran Bahan Bakar .....	36
2.13 Neraca Panas.....	37

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	40
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	41
3.3 Bahan Dan Alat Pengujian.....	41
3.4 Data <i>Boiler</i> .....	44
3.5 Subjek Penelitian.....	44
3.6 prosedur Pengujian.....	45
3.7 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	47

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

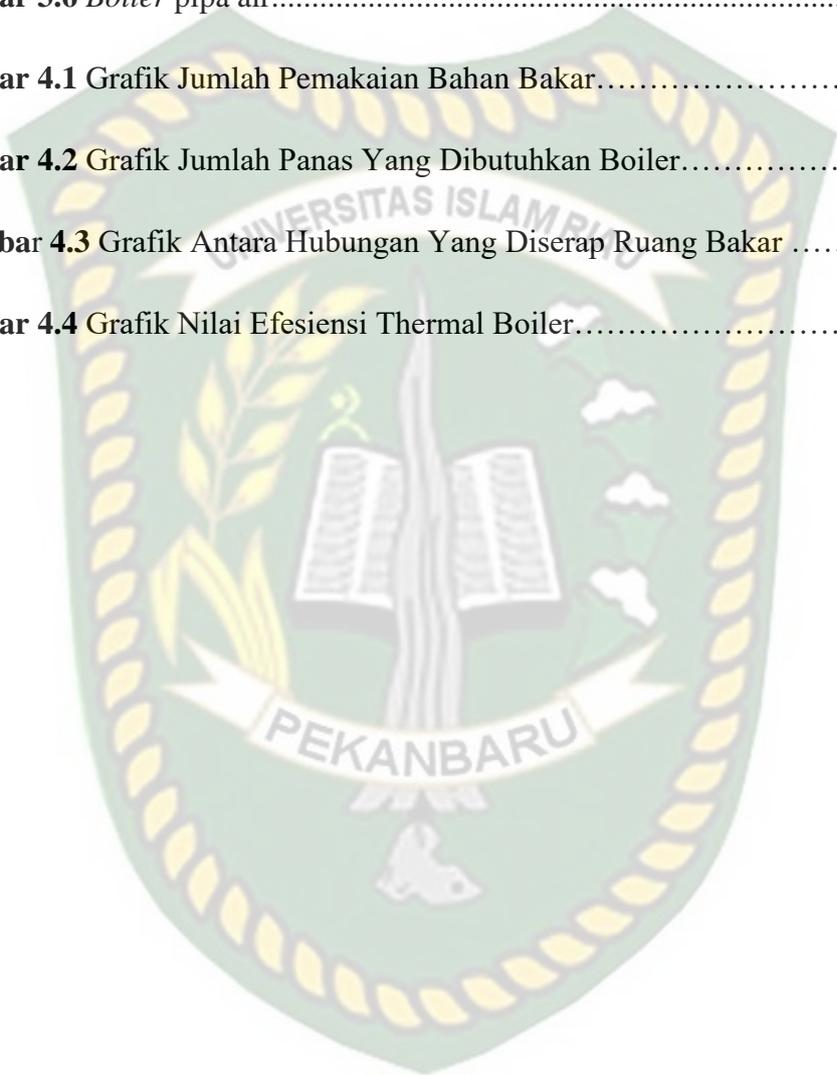
4.1 Komposisi Bahan Bakar Campuran.....	48
4.2 Konsumsi Bahan Bakar .....	50
4.3 Konsumsi Udara Pembakaran.....	50
4.4 Produksi Gas Asap.....	52
4.5 Volume Gas Asap.....	53
4.6 Kebutuhan Panas Untuk Uap Saturasi.....	55
4.7 Perhitungan Temperatur.....	56
4.8 Keseimbangan Panas.....	60

4.9 Efisiensi Boiler.....	62
4.10 Grafik Analisa Pemakaian Bahan Bakar Boiler.....	63
4.11 Grafik Jumlah Panas Yang Dibutuhkan Boiler.....	67
4.12 Grafik Analisa Panas Yang Diserap Ruang Bakar.....	69
4.13 Grafik Efisiensi Thermal Boiler Terhadap Konsumsi BahanBakar..	71
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan.....	72
5.2 Saran.....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>74</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>76</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> <i>Boiler</i> Pipa Api.....	7
<b>Gambar 2.2</b> <i>Boiler</i> Pipa Air.....	8
<b>Gambar 2.3</b> Tungku Pengapian ( <i>furnace</i> ).....	10
<b>Gambar 2.4</b> Dearator.....	11
<b>Gambar 2.5</b> <i>Feed Water Tank</i> .....	12
<b>Gambar 2.6</b> Drum Ketel Atas ( <i>upper Drum</i> ).....	13
<b>Gambar 2.7</b> Drum Ketel Bawah.....	13
<b>Gambar 2.8</b> Pipa <i>Water Wall</i> .....	14
<b>Gambar 2.9</b> Pembuangan Abu ( <i>AshHopper</i> ).....	15
<b>Gambar 2.10</b> Cerobong Asap ( <i>Ashhopper</i> ).....	16
<b>Gambar 2.11</b> Siklus <i>Rankine</i> .....	24
<b>Gambar 2.12</b> Diagram T-S Siklus <i>Rankine</i> Sederhana.....	26
<b>Gambar 2.13</b> Cangkang Kelapa Sawit ( <i>Shell</i> ).....	37
<b>Gambar 2.14</b> <i>Fiber</i> Kelapa Sawit.....	38
<b>Gambar 2.15</b> Diagram Neraca Energi <i>Boiler</i> .....	40
<b>Gambar 2.16</b> Kehilangan Panas Pada <i>Boiler</i> .....	41
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	43
<b>Gambar 3.2</b> PT.PEPUTRA MASTERINDO.....	44
<b>Gambar 3.3</b> Ruang Bakar.....	45

<b>Gambar 3.4</b> <i>Pressure Gauge</i> .....	46
<b>Gambar 3.5</b> Ampere Meter.....	47
<b>Gambar 3.6</b> <i>Boiler</i> pipa air.....	48
<b>Gambar 4.1</b> Grafik Jumlah Pemakaian Bahan Bakar.....	64
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Jumlah Panas Yang Dibutuhkan Boiler.....	67
<b>Gambar 4.3</b> Grafik Antara Hubungan Yang Diserap Ruang Bakar .....	69
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Nilai Efisiensi Thermal Boiler.....	71



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Udara berlebih ( <i>Exces Air</i> ).....	20
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Boiler.....	44
<b>Tabel 3.2</b> .....	45
<b>Tabel 3.3</b> Jadwal Kegiatan Penelitian.....	47
<b>Tabel 4.1</b> Komposisi Bahan Bakar.....	49
<b>Tabel 4.2</b> Jumlah Pemakaian Bahan Bakar Boiler... ..	63
<b>Tabel 4.3</b> Jumlah Panas Yang Dibutuhkan Boiler Tiap Jam.....	66
<b>Tabel 4.4</b> Panas Yang Diserap Ruang Bakar.....	68
<b>Tabel 4.5</b> Nilai Efisiensi Thermal Boiler.....	70

## DAFTAR NOTASI

Simbol	Notasi	Satuan
HHV	<i>High Heating Value</i>	(kJ/kg)
LHV	<i>Low Heating Value</i>	(kJ/kg)
$W_f$	Jumlah Bahan Bakar Dibutuhkan	(kg/jam)
$W_s$	Kapasitas Ketel Uap	(kg/jam)
$H_{sh}$	Entalphi Uap Superheater	(kg/cm <sup>2</sup> )
$\mu_k$	Efisiensi Ketel	%
$W_{a,act}$	Berat Pembakaran Aktual	(kg ud/kg bb)
$V_{a,act}$	Volume Udara Aktual	(ud/kg bb)
$V_a$	Volume Udara Yang Dibutuhkan	(m <sup>3</sup> /jam)
$W_{g \text{ basah}}$	Berat Gas Asap Basah	(kg/kg bb)
$W_{g \text{ kering}}$	Berat Gas Asap Basah	(kg/kg bb)
$C_p$	Panas Jenis Gas Asap	(Kkal/kg °C)
$W_s$	Kapasitas Uap	(kg/jam)
$W_g$	Berat Gas Asap	(kg/jam)

$\Delta t$	Selisih Temperatur Udara Masuk Dapur	( $^{\circ}\text{C}$ )
$W_g$	Berat Gas Asap	(kg/jam)
$W_a$	Berat Udara Aktual	(kg/jam)
$t_c$	Temperatur Gas Asap Memasuki Cerobong	( $^{\circ}\text{C}$ )
$t_u$	Temperatur Udara Luar	( $^{\circ}\text{C}$ )
$Q_r$	Radiasi Pada Instalasi Ketel	(Kkal/jam)
$Q_{\text{sat}}$	Pembentukan Uap Saturasi	(Kkal/jam)
$Q_{\text{sup}}$	Pembentukan Uap Superheater	(Kkal/jam)
$Q_{\text{APU}}$	Memanaskan Udara	(Kkal/jam)

# ANALISA UNJUK KERJA *BOILER* KAPASITAS 30 TON UAP/JAM DENGAN MENGUNAKAN CAMPURAN BAHAN BAKAR *FIBER* DAN *SHELL*

Hafiz Maulana , Eddy Elfiano , Sehat Abdi S

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau

Jl. Kharudin Nasution KM 11 No. 33 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

Email : [hafizmaulana9426@gmail.com](mailto:hafizmaulana9426@gmail.com)

## ABSTRAK

Optimasi bahan bakar *boiler* suatu proses untuk mencapai hasil yang baik/ideal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kinerja dipabrik kelapa sawit. Analisa dilakukan untuk dengan tujuan untuk mengetahui optimasi bahan bakar boiler sesuai kondisi aturan dan mengetahui kinerja boiler. Metode yang digunakan adalah observasi langsung terhadap produksi *shell dan fiber* serta unit boiler. Boiler dioperasikan untuk memproduksi uap hingga 30 ton uap/jam , produksi yang dihasilkan oleh bahan bakar shell 3.150 kg/hari dan produksi fiber 5.400 kg/hari. Kebutuhan bahan bakar boiler adalah 7.328 kg/hari. Pada bahan bakar cangkang ini mempunyai kandungan : kalium (K) sebesar 7,5%, Natrium (Na) sebesar 1,1 , kalsium (Ca) sebesar 1,5 % , karbonat (CO<sub>3</sub>) Sebesar 1,9%, dan silika (SiO<sub>2</sub>) sebesar 61%. Cangkang mempunyai nilai kalor 3.500 kkal/kg – 4.100 kkal/kg. Sedangkan kandungan pada serabut kelapa sawit mengandung pati 11,550%bb dan selulosa 41,392 %bb. Nilai kalor bahan bakar serabut ini adalah 4.492 kkal/kg. Efisiensi yang dihasilkan masih dibawah standar. Hal ini bisa disebabkan oleh kandungan air dalam fiber dan shell yang tidak konstan setiap harinya dan sistem pengadukan bahan bakar serta control feeding bahan bakar dalam dapur boiler yang masih perlu diperbaiki lagi.

Kata kunci : Boiler, cangkang, serabut

**BOILER PERFORMANCE ANALYSIS OF 30 TONS OF STEAM / HOUR  
CAPACITY USING FIBER AND SHELL FUEL**

Hafiz Maulana, Eddy Elfiano, Sehat Abdi S

*Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Riau Islamic University*

Jl. Kharudin Nasution KM 11 No. 33 Stopping Marpoyan, Pekanbaru

Email: [hafizmaulanahsb9426@gmail.com](mailto:hafizmaulanahsb9426@gmail.com)

**ABSTRACT**

*Boiler fuel optimization is a process to achieve good / ideal results. This study aims to analyze the performance of oil palm mills. The analysis is carried out for the purpose of finding out the boiler fuel optimization according to the conditions of the rules and knowing the boiler performance. The method used is direct observation of shell and fiber production and boiler units. Boilers are operated to produce steam up to 30 tons of steam / hour, production produced by shell fuel 3,150 kg / day and fiber production of 5,400 kg / day. The boiler fuel requirement is 7,328 kg / day. In this shell fuel contains: potassium (K) of 7.5%, Natarium (Na) of 1.1, calcium (Ca) of 1.5%, carbonate (CO<sub>3</sub>) of 1.9%, and silica ( SIO<sub>2</sub>) by 61%. The shell has a calorific value of 3,500 kcal / kg - 4,100 kcal / kg. While the content of oil palm fibers contains 11,550% bb and starch 41,392% bb. The heating value of this fuel fiber is 4,492 kcal / kg. The resulting efficiency is still below standard. This can be caused by the water content in the fiber and shell that is not constant every day and the fuel stirring system as well as the control of fuel feeding in the boiler kitchen which still needs to be repaired again*

*Keywords: Boilers, shells, fibers*

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

*Boiler* mempunyai peranan penting dalam kelangsungan kinerja dari sebuah pabrik kelapa sawit dengan kata lain bisa dikatakan sebagai jantung dari pabrik kelapa sawit. Fungsi dari boiler adalah menghasilkan Uap yang digunakan untuk kebutuhan proses pabrik, dan membangkitkan listrik untuk kebutuhan pabrik maupun perumahan karyawan di sekitar pabrik dan cara lain untuk memenuhi kebutuhan daya yang sangat meningkat tersebut ialah dengan mengkonversikan energi yang terkandung dalam bahan bakar serabut dan cangkang sawit menjadi daya yang dibutuhkan perusahaan kelapa sawit. *boiler* berbentuk tabung atau bejana yang berfungsi untuk menghasilkan *steam* dengan cara memanaskan air hingga menjadi uap. Jenis-jenis bahan bakar *boiler* seperti *fiber*, *shell*, batu bara, kayu dan lain-lain.

Boiler atau ketel uap adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinyu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan boiler uap superheater dengan tekanan dan temperature yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan peminda panas, laju aliran dan panas pembakaran yang diberikan.

Biomassa yang terdapat pada industri pengolahan kelapa sawit merupakan produk sampingan seperti cangkang sawit, serat, dan tandan buah kosong. Bahan-bahan tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pada pks PT.Peputra Masterindo yang berkapasitas 30 ton uap/jam, serat buah sawit dan cangkang sawit telah dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan uap guna memasok ketel uap pembangkit tenaga listrik. Nilai kalor yang dihasilkan dari serat (*fiber*) dan cangkang (*shell*) sebesar 2.521,24 kcal/kg dan 3.947 kcal/kg. total potensi listrik yang dihasilkan dari serat (fiber) dan cangkang (shell) sebesar 700 kw atau 1.330 Amper. Dengan turunnya unjuk kerja *boiler* akan memberi dampak terhadap penurunan efisiensi keseluruhan unit yang tidak mampu lagi menghasilkan daya sebesar pada saat komisioning. Dengan kondisi ini, perlu adanya pengkajian dan penanganan tentang studi dan analisis unjuk kerja *boiler*.

Adapun permasalahan dalam penelitian ini seperti: komposisi bahan bakar campuran, konsumsi bahan bakar, konsumsi udara pembakaran dan produksi gas asap. Maka dari itu penulis memberi judul : Analisa Unjuk Kerja *Boiler* Kapasitas 30 Ton Uap/jam Dengan Menggunakan Campuran Bahan Bakar *fiber* Dan *shell*. Berdasarkan uraian diatas penulis merasa tertarik untuk membahas dan ingin mengetahui lebih banyak lagi tentang hal-hal yang berkaitan dengan boiler.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang, maka permasalahan dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa nilai parameter unjuk kerja *boiler* dengan kapasitas 30 ton uap/jam dengan menggunakan campuran bahan bakar *fiber* dan *shell*?
2. Berapa banyak bahan bakar yang digunakan *boiler* dengan kapasitas 30 ton uap/jam dengan menggunakan campuran bahan bakar *fiber* dan *shell*?

### 1.3. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah analisis unjuk kerja *boiler* menggunakan campuran bahan bakar *fiber* dan *shell* kelapa sawit sebagai bahan bakar. Tujuan dari analisis yang tertulis dalam penelitian ini yaitu :

1. Untuk mendapatkan nilai kebutuhan uap yang diperlukan *boiler* dengan kapasitas 30 ton uap/jam dengan menggunakan campuran bahan bakar *fiber* dan *shell*?
2. Untuk menganalisa komposisi bahan bakar campuran *boiler* dengan kapasitas 30 ton uap/jam dengan menggunakan campuran bahan bakar *fiber* dan *shell*?

### 1.4 Batasan Masalah

Dalam hal ini, untuk memperjelas suatu penelitian agar dapat dibahas dengan baik dan tidak meluas, maka perlu direncanakan batasan masalah yang terdiri dari;

1. Penelitian dilaksanakan di PT.Peputra Masterindo di Kampar.
2. Bahan bakar yang digunakan *fiber* dan *shell*
3. Menggunakan boiler berkapasitas 30 ton uap/jam
4. Perbandingan bahan yang digunakan *fiber* 80% dan *shell* 20%.

5. Boiler yang digunakan *BOILERMECH SDN.BHD*

### 1.5 Sistematika Penulisan

Penyusunan ini bisa dijadikan proposal judul untuk tugas akhir terbagi menjadi lima bab secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### **Bab I      Pendahuluan**

Pada bagian pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

#### **Bab II      Tinjauan Pustaka**

Pada bab tinjauan pustaka ini berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan penelitian analisa unjuk kerja *boiler* dan rumus-rumus yang digunakan.

#### **Bab III      Metodologi Penelitian**

Bab ini menjelaskan tentang informasi mengenai tempat dan waktu pelaksanaan penelitian, peralatan yang digunakan, tahapan dan prosedur penelitian.

#### **Bab IV      Analisa Perhitungan Dan Hasil Dari Bahan Bakar Boiler**

Berisi tentang analisa kebutuhan panas pada proses pengolahan dan banyaknya bahan bakar yang digunakan pada tiap-tiap proses serta analisa produksi panas atau kalor yang dihasilkan dengan jumlah bahan bakar pada *boiler*.

#### **BAB V      Kesimpulan Dan Saran**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Ketel Uap (*boiler*)

*Boiler* atau ketel uap adalah suatu alat berupa tanki/drum/vessel tertutup yang terbuat dari baja yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap atau dengan kata lain mentransfer panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar (baik dalam bentuk padat, cair atau gas) sehingga air berubah wujud menjadi uap. Secara proses konversi energi, *boiler* memiliki fungsi untuk mengkonversikan energi kimia yang tersimpan di dalam ruang bakar menjadi energi panas yang ditrasferkan ke fluida kerja.

Hal ini terjadi karena adanya perpindahan panas dari bahan bakar dan air yang akan terjadi di tabung yang tertutup rapat. Pada ketel jenis pipa air, air mengalir ke dalam pipa-pipa, sedangkan pemanasan air itu di lakukan oleh gas-gas asap yang berada di sekitar pipa-pipa tersebut. pada umumnya sudah banyak perusahaan yang menerapkan penggunaan serabut dan cangkang kelapa sawit untuk bahan bakar *boiler*. Bejana bertekanan pada umumnya menggunakan bahan baja dan spesifikasi tertentu yang telah di tentukan dalam standar ASME (*The ASME Code Boilers*), terutama untuk penggunaan *boiler* pada industri-industri besar. Dalam sejarah tercatat berbagai jenis material di gunakan sebagai bahan pembuatan *boiler* seperti tembaga, kuningan dan besi cor. namun bahan tersebut sudah lama di tinggalkan karna alasan ekonomis dan juga ketahanan material yang tidak sesuai dengan kebutuhan industri. panas yang di berikan kepada fluida di dalam *boiler* berasal dari proses pembakaran dengan berbagai macam jenis

bahan bakar yang dapat di gunakan, seperti kayu, batubara, solar/minyak bumi dan gas. dengan adanya kemajuan teknologi, energi nuklir pun juga digunakan sebagai sumber panas pada *boiler*.

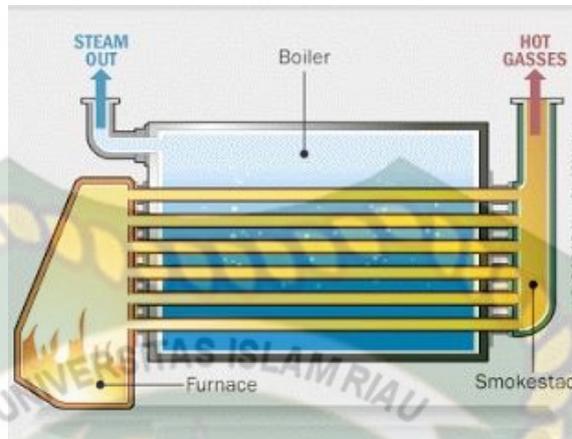
## 2.2 Klasifikasi Ketel Uap (*boiler*)

*Boiler*/ketel uap pada dasarnya terdiri dari bumbung (*drum*) yang bertutup pada ujung pangkal nya dan dalam perkembanganya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang mengklasifikasikan katel uap tergantung pada sudut pandang masing-masing .

Dalam tugas akhir ini katel uap diklasifikasikan dalam dua macam yaitu :

1. Berdasarkan Fluida Yang Mengalir Dalam Pipa
  - a. Ketel Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

Pada katel pipa api, fluida yang mengalir dalam pipa adalah gas nyala (hasil pembakaran), yang membawa energi panas (*Thermal Energy*), yang segera mentrasfernya ke air katel melalui bidang pemanasan (*Heating Surface*). Cara kerja dari *boiler* pipa api ini adalah di dalam pipa terjadi proses pengapian, kemudian panas yang dihasilkan dalam proses tersebut langsung dihantarkan ke dalam *boiler* yang berisi air. Kapasitas dan tekanan yang dihasilkan *boiler* dipengaruhi oleh besar besar dan konstruksi *boiler*. Tujuan pipa api ini adalah untuk memudahkan distribusi panas kepada air katel. api/gas asap mengalir dalam pipa sedangkan air/uap diluar pipa drum berfungsi untuk tempat air dan uap, disamping itu drum juga sebagai bidang pemanas. Bidang pemanas terletak didalam drum, sehingga luas bidang pemanas yang dapat dibuat terbatas, bisa dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini :

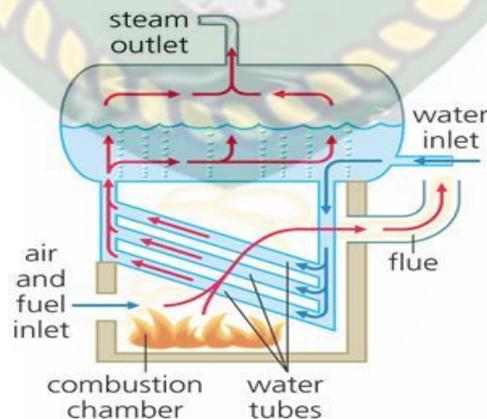


**Gambar 2.1** boiler pipa api

Sumber : pengetahuan umum boiler

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

Pada katel pipa air, fluida yang mengalir dalam pipa adalah air, energi panas yang ditrasfer dari luar pipa (yaitu ruang dapur) ke air ketel. Cara kerja boiler pipa air adalah diluar pipa terjadi proses pengapian, kemudian dihasilkan panas yang digunakan untuk memanaskan pipa yang berisi air, dapat di lihat pada gambar 2.2 berikut ini :



**Gambar 2.2** Boiler Pipa Api

Sumber : pengetahuan umum boiler

2. Berdasarkan pemakainya :

a. Ketel stasioner (*stasionary boiler*) atau ketel tetap

Merupakan ketel yang didudukan di atas pondasi yang tetap, seperti ketel untuk pembangkit tenaga, untuk industri dan lain sebagainya.

b. Ketel mobil (*mobile boiler*) Ketel Pipa Atau (*portable boiler*)

Merupakan ketel yang dipasang fundasi yang berpinda-pinda (mobil), seperti *boiler* lokomotif lokomobil dan ketel panjang serta lain yang sebagainya termasuk ketel kapal (*marine boiler*).

3. Berdasarkan letak dapur (*furnance positition*)

a. Ketel dengan pembakaran dalam (*internally fired steam boiler*), dalam hal ini dapur berada (pembakaran) dibagian dalam ketel. Kebanyakan ketel pipa air memakai sistem ini.

b. Ketel dengan pembakaran diluar (*auternally fired steam boiler*) dalam hal ini dapur berada dibagian luar ketel, kebanyakan ketel pipa air memakai sistem ini.

4. Menurut Sistem Peredaran Air Ketel (*water circulation*)

a. Ketel dengan peredaran dalam (*natural circulation steam boiler*)

b. Ketel dengan peredaran paksa (*forced circulation steam boiler*)

Pada *natural circulation boiler* , peredaran air dalam ketel terjadi secara alami, yaitu air ringan yang naik sedang air yang turun, sehingga terjadilah konveksi alami, seperti ketel *lancarshire, babcock & wilcox* dan lain-lain. Pada ketel dengan aliran paksa (*forced circulation steam boiler*) aliran

paksa diperoleh dari sebuah pompa sentrifugal yang digerakan dengan elektrik motor.

5. Tergantung kepada panasnya (*heat source*) untuk pembuatan uap.
  - a. Ketel uap dengan bahan bakar alami
  - b. Ketel uap dengan bahan bakar buatan
  - c. Ketel uap dengan dapur listrik
  - d. Ketel uap dengan energi nuklir

### **2.3 komponen utama boiler**

#### **2.3.1 Tungku Pengapian (*Furnace*)**

*Furnace* adalah suatu ruangan dapur sebagai penerima bahan bakar untuk pembakaran, yang dilengkapi dengan *fire grate* pada bagian bawah di letakkan rangka bakar sebagai alas bahan bakar, dan pada sekelilingnya adalah pipa-pipa air ketel yang menempel pada dinding tembok dapur yang mendapat atau menerima panas dari bahan bakar. Proses pembakaran terjadi pada *furnace* yang memiliki ruangan cukup besar berukuran 6-10 m. Pada dapur pembakaran terjadi reaksi pembakaran yang dapat diisolasi dan dibatasi sehingga reaksi tetap dapat dikendalikan. Selain itu, untuk proses pembakarannya dapur ditunjang oleh peralatan pembakaran lainnya. (Khan dan Shahabanaz, 2014).

Dinding dapur bakar terdapat pipa-pipa berisi air yang akan berubah menjadi uap setelah mendapat pemanasan dari proses pembakaran. Pipa-pipa air tersebut merupakan tempat pembentukan uap dan menjaga agar temperature ruang bakar tidak terlalu tinggi. Ruang bakar ini kemudian diisolasi bagian luarnya agar aman

jika disentuh, sedangkan pipa-pipa satu dengan yang lainnya dihubungkan dengan plat sehingga merupakan satu kesatuan atau satu rangkaian.



**Gambar 2.3** Tungku pengapian (*furnace*)

### 2.3.2 Deaerator

Deaerator adalah alat yang digunakan untuk menaikkan temperatur dan mengurangi kadar oksigen dalam air umpan sehingga mengurangi proses oksidasi terhadap pipa-pipa dalam *boiler*. Proses oksidasi dapat menyebabkan korosi terhadap pipa-pipa yang bersentuhan dengan air. Seperti pada gambar 2.5 berikut ini :



**Gambar 2.4** Deaerator

### 2.3.3 Feed Water Tank

*Feed water tank* adalah tangki air yang berasal dari *demint plant* yang digunakan untuk air umpan *boiler*. Pemanasan air di *feed water tank* menggunakan injeksi uap langsung. Semakin tinggi temperatur air umpan semakin hemat pemakaian bahan bakar. Temperatur air umpan *feed water tank* minimal  $80^{\circ}\text{C}$  , seperti pada gambar 2.6 berikut ini ;



**Gambar 2.5** *Feed Water Tank*

### 2.3.4 Drum Ketel Atas

Drum ketel atas merupakan pusat sirkulasi air dan uap. Pada umumnya ketel menggunakan dua buah drum yaitu drum atas (*upper drum*) dan drum bawah (*lower drum*), yang mana ukuran drum atas dan drum bawah berbeda yang bertujuan agar sirkulasi berjalan dengan baik. Pada kedua drum ini dihubungkan pipa *back pass*, air dalam drum maksimal  $1/2$  diameter drum. Pembatasan isi drum ini bertujuan agar karena pada drum inilah akan dihasilkan uap jenuh dan untuk mengatasi efek yang tidak diinginkan , hal ini dapat dipahami karena dinding atas

drum yang berbatasan dengan uap memuai lebih banyak dibandingkan dengan dinding drum bagian bawah dalam hal ini diusahakan jangan sampai terjadi tegangan akibat perbedaan panas , seperti pada gambar 2.7 berikut ini :



**Gambar 2.6** Drum Ketel Atas (*upper Drum*)

### 2.3.5 Drum ketel Bawah

Drum ketel bawah berfungsi sebagai tempat pemanasan air ketel uap yang di dalamnya di pasang plat-plat pengumpul endapan lumpur untuk memudahkan pembuangan keluar (*blow down*) , seperti gambar 2.8 berikut :



**Gambar 2.7** Drum Ketel Bawah

### 2.3.6 Pipa *water wall*

Pipa *water wall* adalah pipa-pipa yang ditempatkan didinding yang berhadapan langsung dengan dapur. Pipa *water wall* ini berfungsi untuk menyerap panas dari bahan bakar yang terbakar didalam ruang bakar sehingga fasa air secara perlahan akan berubah menjadi fasa uap. Pada tekanan dan temperatur kosntan. Dengan adanya pemberian panas meningkatkan massa jenis fluida. Fluida yang massa jenisnya masih tinggi akan bergerak ke atas sedangkan massa jenis nya yang lebih rendah akan bergerak kebawah. Sirkulasi ini terjadi secara alami demikian seterusnya. Pipa *water wall* atau pipa dinding api berfungsi menyerap panas pembakaran yang dipancarkan oleh nyala gas dan pipa-pipa ini disusun sedemikian rupa agar dapat menerima panas radiasi sebaik mungkin, seperti gambar 2.9 berikut ini :



**Gambar 2.8** Pipa *Water Wall*

### 2.3.7 Pembuangan Abu (*AshHopper*)

Abu yang terbawa panas dari ruang pembakaran pertama, terbang/jatuh didalam pembuangan abu yang berbentuk kerucut, seperti pada gambar 2.10 berikut ini :



**Gambar 2.9** Pembuangan Abu

### 2.3.8 Cerobong Asap (*Chimney*)

Cerobong asap adalah suatu alat yang digunakan untuk mengalirkan/membuang gas hasil pembakaran atau gas asap ke lingkungan luar. Tingginya pembangunan cerobong asap di maksudkan untuk menarik tinggi-tinggi udara yang ada dan selanjutnya menyapakan polutan-polutan yang terkandung dalam gas buang yang menuju wilayah yang lebih luas sehingga dapat mengurangi konsentrasi polutan yang telah disesuaikan dengan batasan peraturan yang berlaku dapat dilihat pada gambar 2.11 berikiut ini :



**Gambar 2.10** CerobongAsap (*Ashhopper*)

#### **2.4 Fungsi Ketel Uap**

Ketel uap berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi kimia (potensial) dari bahan bakar menjadi energi panas.

Ketel uap terdiri dari dua komponen utama, yaitu :

- Dapur, alat mengubah energi kimia menjadi energi panas.
- Alat penguap (*evaporator*) yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial uap.

Kedua komponen tersebut diatas telah dapat untuk memungkinkan sebuah katel uap untuk berfungsi.

## 2.5 Peroses Pembentukan Uap

Bila diatas sekeping logam terdapat beberapa tetes air, dan kita perhatikan molekul-molekul air tersebut, temperatur air pada saat itu adalah  $T_0$  Kelvin atau  $t_0$ °Celcius. Molekul-molekul air tersebut bergerak bebas kesana kemari dalam lingkungannya (lingkungan air) dengan kecepatan gerak  $v_0$  meter/detik. Molekul-molekul tersebut dalam gerakanya kesana kemari tidak akan dapat meninggalkan lingkungannya, yaitu lingkungan air karena adanya gaya tarik menarik antara molekul-molekul itu sendiri.

Apabila dibawah kepingan logam tersebut dipasang api sehingga api tersebut memanasi kepingan logam yang diatasnya terdapat beberapa tetes air, maka temperatur air tersebut akan naik menjadi  $T_1$  Kelvin , dan ternyata kecepatan gerak dari molekul-molekul air tersebut akan bertambah menjadi  $v_1$  meter/detik, namunbelum mampu untuk melepaskan diri dari lingkungannya, apabila api yang kemudian dipanaskan dibawah kepingan logam tersebut di tambah besarnya maka tempratur air di atas kepingan logam tadi akan naik lagi menjadi  $T_2$  kelvin, sedangkan ternyata pula kecepatan gerak dari molekul-molekul air akan bertambah menjadi  $v_2$  meter/detik, namun masih belum mampu untuk melepaskan diri dari lingkungannya. Dan apabila api yang dipasang dibawah kepingan logam tersebut mencapai Kelvin, sedangkan kecepatan gerak molekul-molekul air tersebut telah mencapai  $v_d$  meter/detik, sehingga molekul air tersebut mampu untuk melepaskan diri dari lingkungannya, dan mampu untuk melepaskan diri dari gaya tarik antara molekul-molekul air tersebut. Molekul-molekul air yang melepaskan diri dari lingkungannya tersebut akan merubah menjadi uap yang

kecepatan geraknya melebihi kecepatan molekul-molekul air semula. Proses yang demikian tersebut “proses penguapan”. Molekul air menjadi molekul uap, atau disebut juga bahwa air tersebut sedang “mendidih” karena permukaan air menjadi bergolak. Temperatur air pada saat itu mencapai “temperatur mendidih” yaitu  $T_d$  Kelvin. Dan bila api masih saja ditambah besarnya, ternyata bahwa temperatur mendidih  $T_d$  Kelvin tidak akan berubah.

Uap ada dua jenis yaitu uap kenyang (*saturated steam*) dan uap panas lanjut (*superheated steam*).

1. Uap kenyang (*saturated steam*)

Adalah uap yang senantiasa mempunyai pasangan-pasangan harga antara tekanan dengan temperatur mendidihnya. Bila tekanan dinaikan temperatur mendidih akan naik, dan sebaiknya, bila tekanan diturunkan maka temperatur mendidihnya akan turun.

Ciri-ciri uap kenyang adalah sebagai berikut :

- a. Uap kenyang adalah yang dalam keadaan seimbang dengan air yang ada dibawahnya.
- b. Uap kenyang adalah uap yang mempunyai tekanan dan temperatur mendidih yang sama dengan tekanan dan temperatur mendidih air yang ada dibawahnya.
- c. Uap kenyang adalah uap yang mempunyai pasangan-pasangan harga antara tekanan dan temperatur mendidihnya.
- d. Uap kenyang adalah uap yang apabila diinginkan akan segera mengembun menjadi air.

- e. Uap kenyang adalah uap yang apabila melakukan ekspansi atau di biarkan mengembang akan mengembun menjadi air.

## 2. Uap panas lanjut (*superheated steam*)

Uap panas lanjut adalah uap kenyang yang dipanaskan lagi, uap panas lanjut bila tekanan berubah namun temperaturnya tidak akan merubah.

Ciri-ciri uap panas lanjut adalah sebagai berikut :

- a. Uap yang temperaturnya jauh lebih tinggi diatas temperatur air mendidih pada tekanan .
- b. Uap yang tidak bisa seimbang dengan air.
- c. Uap yang tidak mempunyai pasangan-pasangan antara tekanan dan temperaturnya
- d. Uap yang apabila diinginkan tidak akan mengembun.
- e. Uap yang apabila melakukan ekspansi tidak akan mengembun.
- f. Tidak dapat membuat uap yang dipanaskan lanjut dari uap kenyang selama uap tersebut masih bersinggungan dengan air ada dibawahnya.

## 2.6 Sirkulasi Air Pada *Boiler*

Ada tiga jenis sirkulasi dan uap pada ketel yaitu, sirkulasi paksa, sirkulasi alami dan sirkulasi perbedaan tekanan.

### 1. Sirkulasi paksa

Pada sirkulasi paksa, fluida (*feed water*) dipompa melalu bagian evaporator ketel. Air pengisi (*feed water*) dapat dipompa dengan hanya menggunakan pipa yang kecil namun dengan tekanan yang sangat tinggi.

Tekanan tinggi memaksa aliran fluida memaksa masuk melalui kontrol valve ke ekonomizer untuk di teruskan ke *steam drum*.

## 2. Sirkulasi Alami

Energi panas yang diberikan pada ruang bakar akan terjadinya penguapan. Uap yang mempunyai berat jenis lebih rendah akan naik keatas, sedangkan air yang lebih berat akan berkumpul kebagian bawah drum uap (*steam drum*) . air inilah yang nantinya turun ke steam drum melalui *drowncomerdan* memasuki *wall tube*(pipa dinding *boiler* ) secara alami (gaya grafitasi).

## 3. Sirkulasi perbedaan tekanan

Seperti pada hukum grafitasi dan aliran panas, uap selalu mengalir dari suatu area yang bertekanan lebih tinggi dari tekanan *steam header* turbin. Bedatekanaan ini yang menyebabkan uap mengalir ke pipa-pipa uap panas lanjut.

## 2.8 Kelebihan Udara (*Exces Air*)

Untuk aplikasi komersial, lebih dari udara teoritis diperlukan untuk memastikan pembakaran yang sempurna. Udara berlebih ini diperlukan karena udara dan bahan bakar pencampuran tidak sempurna. Karena berlebihan udara yang tidak digunakan untuk pembakaran daun unit pada suhu tumpukan, jumlah udara berlebih harus diminimalkan. Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan , dapat dilihat pada tabel 2.15 dibawah ini :

## Kebutuhan Udara Berlebih Yang Khas Dipembakaran Bahan Bakar

**Tabel 2.1** Udara berlebih (*Excces Air*)

No	Jenis bahan bakar	Jenis tungku atau kompor	Udara berlebih oleh % berat
1.	Bubuk batubara	Benar-benar air didinginkan tungku basah atau kering penghapusan abu tungku sebagian air-cooled	15 sampai 20 15 sampai 40
2.	Batubara hancur	Siklon tekanan tungku atau hisab Fluidizedbed pembakaran	13 sampai 20 15 sampai 20
3.	Batu bara	Spreader stoker Air didinginkan parut bergetar stoker Rantai parut dan berbagai memarut Kurang memberi stoker	25 sampai 35 25 sampai 35 25 sampai 35 25 sampai 40
4.	Minyak bakar	Daftar jenis pembakar	3 sampai 15
5.	Oven kokas alam dan gas kilang	Daftar jenis pembakar	3 sampai 15
6.	Gas tanur tinggi	Daftar jenis pembakar	15 sampai 30
7.	Kayu/kulit	Parut berjalan, parut bergetar jika air didinginkan	20 sampai 25
8.	Menolak bahan bakar yang berasal (RDF)	Benar-benar air didinginkan tungku parut bepegian	40 sampai 60
9.	Sampah kota (msw)	Air didinginkan/refraktori tertutup tungku reciprocating parut berputar	80 sampai 100 60 sampai 100
10.	Ampas tebu	Semua tungku	25 sampai 35
11.	Lindi hitam	Tungku pemulihan untuk kraf dan proses pembuburan soda	15 sampai 20

Pesawat ini dari ambien untuk tumpukan suhu biasanya tidak melayani tujuan dan hilang panas. Nilai-nilai khas udara berlebih yang dibutuhkan pada peralatan pembakaran ditunjukkan pada tabel 2.1 untuk berbagai bahan bakar dan metode penembakan. Ketika tembak *substoichiometric* digunakan di zona pembakaran, kurang dari udara teoritis yang digunakan, nilai-nilai yang ditampilkan akan berlaku untuk zona tungku dimana udara akhir diakui untuk menyelesaikan pembakaran. Jumlah udara berlebih dipintu keluar dari pralatan pembangkit uap (dimana biasanya dimonitor) harus lebih besar dari udara yang dibutuhkan dalam pembakaran untuk memperhitungkan pengaturan infiltrasi pada rancangan unit yang yang seimbang (atau segel udara pada tekanan bara). Pada unit modren dengan kostruksi membran, ini biasanya hanya 1 atau 2% udara berlebih pada beban penuh. Pada unit yang lebih tua, namun pengaturan infiltrasi dapat signifikan, dan beroperasi dengan udara rendah dipintu keluar pembangkit uap dapat menghasilkan udara cukup dipembakaran. Hal ini dapat menyebabkan kinerja pembakaran berkurang.

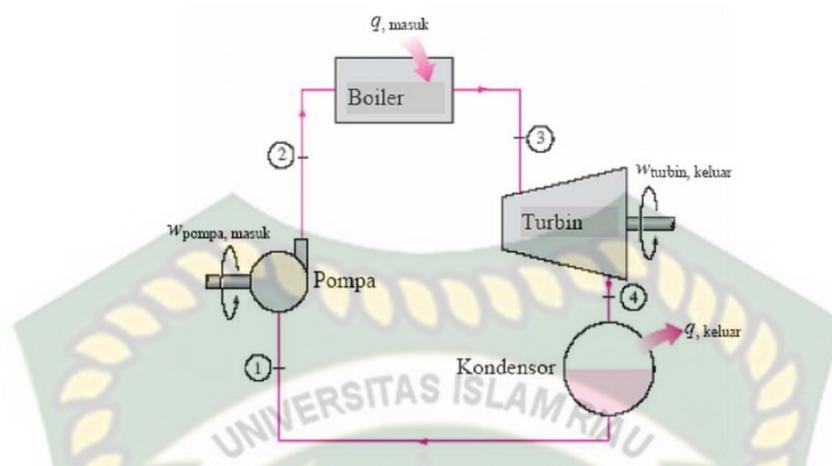
## 2.9 Siklus Rankine

Siklus rankine adalah siklius teoritis yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap. Siklus rankine berbeda dari 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 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* turbin dan

pompa. Kerugian-kerugian dalam tekanan perpindahan panas, pipa-pipa, bengkokan-bengkokan, dan katub-katub. Temperatur air sedikit meningkat selama proses kompresi isentropik karena ada penurunan kecil dari volume jenis air, air masuk ke *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 ditrasfer secara esensial keair pada tekanan konstan. Uap *superheater* pada kondisi 3 masuk ke masuk keturbin yang mana uap diekspansikan secara isentropik dan menghasilkan kerja oleh putaran poros yang dihubungkan pada generator listrik. Temperatur dan tekanan uap jatuh pada proses ini mencapai titik 4, dimana uap masuk kekondensor dan pada kondisi ini uap biasanya merupakan campuran cairan-uap jenuh dengan kualitas tinggi. Fluida pada siklus rankine mengikuti aliran tertutup dan digunakan secara kosntan. Berbagai jenis fluida dapat digunakan pada siklus ini, namun air dipilih karena sebagai karateristik fisika dan kimia, seperti tidak beracun, terdapat dalam jumlah besar, dan murah.

### **2.9.1 Proses Siklus *Rankine***

Terdapat 4 proses dalam siklus rankine, setiap siklus merubah keadaan fluida (tekanan/wujud) :

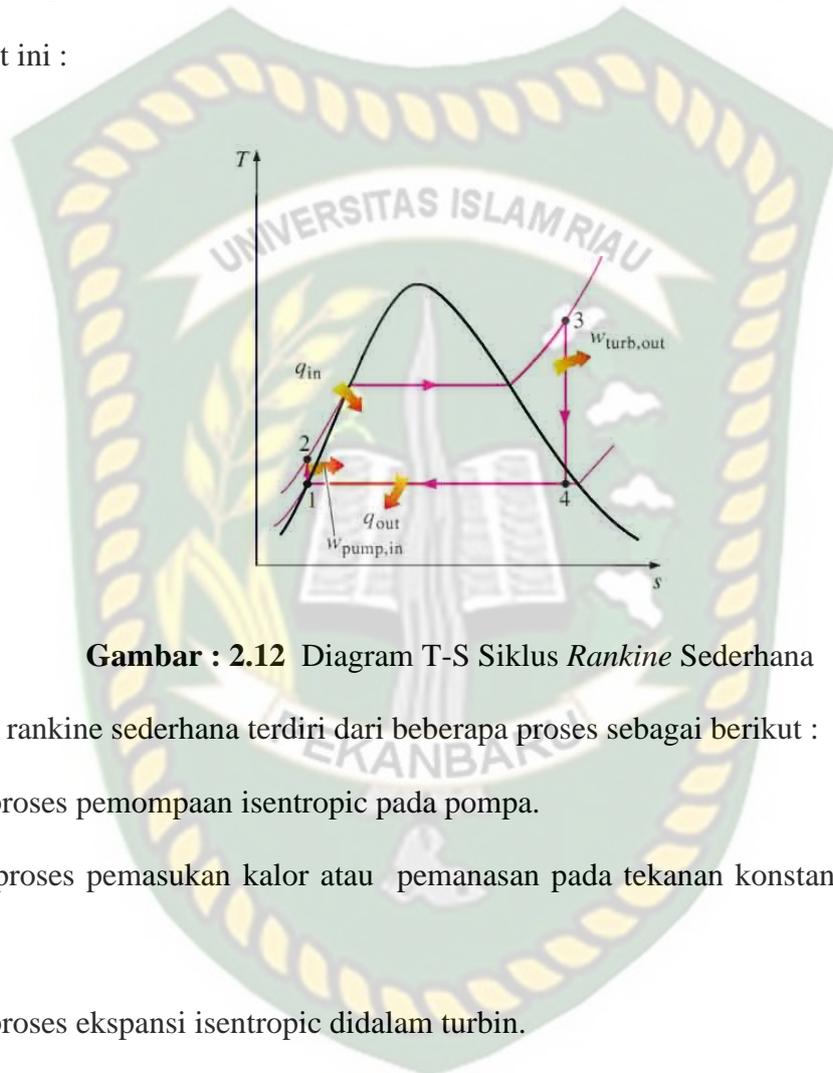


Gambar 2.11 Siklus Rankine

1. Proses 1: Fluida dipompa dalam tekanan rendah ke tekanan tinggi dalam bentuk cair. Proses ini membutuhkan sedikit input energi.
2. Proses 2: Fluida cair tekanan tinggi masuk ke *boiler* dimana fluida dipanaskan sehingga menjadi uap pada tekanan konstan menjadi uap jenuh.
3. Proses 3: Uap jenuh bergerak menuju turbin, menghasilkan energi listrik. Hal ini mengurangi temperatur dan tekanan uap, dan mungkin sedikit kondensasi juga terjadi.
4. Proses 4: Uap basah memasuki kondensor dimana uap diembunkan dalam tekanan dan temperatur tetap hingga menjadi cairan jenuh.

Dalam siklus rankine ideal, pompa turbin *isentropic*, yang berarti pompa dan turbin tidak menghasilkan *entropidan* memaksimalkan output kerja. Dalam siklus rankine yang sebenarnya, kompresi oleh pompa dan ekspansi dalam turbin tidak *isentropic*. Dengan kata lain proses ini tidak bolak-balik dan entropi meningkat selama proses. Hal ini meningkatkan tenaga yang dibutuhkan oleh pompa dan mengurangi energi yang dihasilkan oleh turbin. Secara khusus, efisiensi turbin akan

batasi oleh terbentuknya titik-titik air selama selama ekspansi ke turbin akibat kondensasi. Titik-titik air menyerang turbin, menyebabkan erosi dan korosi, mengurangi usia turbin dan efisiensi turbin., dilihat pada diagram T-S 2.17 berikut ini :



**Gambar : 2.12** Diagram T-S Siklus *Rankine* Sederhana

Siklus rankine sederhana terdiri dari beberapa proses sebagai berikut :

- 1-2 : proses pemompaan isentropic pada pompa.
- 2-3 : proses pemasukan kalor atau pemanasan pada tekanan konstan pada ketel uap.
- 3-4 : proses ekspansi isentropic didalam turbin.
- 4-1 : proses pengeluaran kalor pada tekanan konstan.

### 2.10 ParameterUnjuk Kerja *Boiler*

Parameter-parameter unjuk kerja dari *boiler* seperti halnya efisiensi, rasio penguapan dan lain-lain akan selalu mengalami penurunan yang disebabkan oleh buruknya proses pembakaran, permukaan komponen heat transfer yang kotor, dan

tentunya disebabkan juga oleh pengoperasian serta pemeliharaan yang tidak sesuai dengan SOP.

Perhitungan *boiler* efisiensi akan membantu seorang enjiner untuk mengetahui tingkat efektifitas dari energi panas yang digunakan untuk mengkonversi feedwater menjadi steam, yang selanjutnya akan digunakan sebagai alat untuk memonitoring deviasi efisiensi *boiler* tiap harinya.

Menurut Fahrizal (2014), hasil penelitian terhadap Analisah Avalibity kinerja *boiler*, dapat disimpulkan untuk penilaian kinerja umumnya

### 2.10.1 Komposisi Bahan Bakar Campuran

Nilai kalor atas / *High Heating Value* (HHV) bahan bakar campuran

$$HHV = 33915 C + 144033 [ H_2 - O_2/8 ] + 10468 S \text{ (kJ/kg)}$$

Nilai kalor bawah / *Low Heating Value* (LHV) bahan bakar campuran

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

### 2.10.2 Konsumsi Bahan Bakar

$$W_F = \frac{W_s \cdot (H_{sh} - H_a)}{\eta_k \cdot LHV}$$

Dimana :

$W_f$  = Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan (kg/jam)

$W_s$  = Kapasitas ketel uap 30.000 kg/jam

$H_{sh}$  = Entalphi uap superheater °C

$H_a$  = Entalpi air pengisi ketel °C

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

$\eta_k$  = Efisiensi ketel

### 2.10.3 Konsumsi Udara Pembakaran

Volume udara yang dibutuhkan adalah :

$$V_a = W_f \cdot V_{a,act}$$

Dimana :

$W_f$  = Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan (kg/jam)

$V_{a,act}$  = Banyaknya volume udara aktual  $m^3$  ud/kg bb

$V_a$  = Volume udara yang dibutuhkan  $m^3$ /jam

Berat pembakaran aktual adalah:

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

Untuk pembakaran seluruh bahan bakar pada ketel ini, udarayang dibutuhkan adalah:

$$W_{a,udara} = W_f \cdot W_{a,act}$$

Banyaknya volume udara aktual adalah:

$$V_{a,act} = V_{a,th} + (0,3 \cdot V_{a,th})$$

Volume udara yang dibutuhkan:

$$V_a = W_f \cdot V_{a,act}$$

### 2.10.4 Produksi Gas Asap

Banyaknya gas asap yang terjadi dari 1kg bahan bakar ditentukan dari pers.(5)

adalah :

$$W_g = 1 + \frac{2,66C + 7,94H_2 + 0,998 - O_2}{0,232} R - A$$

Dimana :

$W_g$  = berat gas asap (kg/kg bb)

$R$  = angka kelipatan udara

$$= \frac{W_{a,act}}{W_{a,th}} = \frac{6,708}{5,16} = 1,3$$

$A$  = persentase abu

Berat gas asap dari hasil pembakaran bahan bakar adalah:

$$W_{g,tot} = W_f \cdot W_g$$

Komposisi gas asap yang dihasilkan dari pembakaran 1kg bahan bakar antara sabut dan cangkang adalah:

$$W_{co2} = \frac{11}{3} C = \frac{11}{3} \cdot 0,44396 = 1,627 \text{ kg / kgbb}$$

$$W_{h2o} = 9 \cdot H_2 = 9 \cdot 0,0405 = 0,364 \text{ kg/kg bb}$$

*Excess* oksigen adalah:

$$W_{o2excess} = 30\% \cdot 23\% \cdot (W_{a,th})$$

Nitrogen :

$$W_{N2} = 77\% \cdot (W_{a,act})$$

Berat gas asap basah:

$$W_{g \text{ basah}} = 1 + (W_{a,act}) - A$$

Berat gas asap kering:

$$W_{g \text{ kering}} = W_{g \text{ basah}} - W_{H_2O}$$

### 2.10.5 Volume Gas Asap

Volume gas asap (sisa pembakaran) dapat dihitung dengan mengetahui berat jenis dari gas tersebut. Volume gas asap dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$1. V_{CO_2} = \frac{W_{CO_2}}{\rho_{CO_2}}$$

Dimana :

$$W_{CO_2} = 1,627 \text{ kg/kg bb}$$

$$\rho_{CO_2} = \text{berat jenis } CO_2 = 1,97 \text{ kg/m}^3$$

$$2. V_{H_2O} = \frac{W_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}$$

Dimana :

$$W_{H_2O} = 0,364 \text{ kg/kg.bb}$$

$$\rho_{H_2O} = 0.8 \text{ kg/m}^3$$

$$3. V_{O_2} = \frac{W_{O_2}}{\rho_{O_2}}$$

Dimana :

$$W_{O_2} = 0,356 \text{ kg/kg.bb}$$

$$\rho_{O_2} = 1,43 \text{ kg/m}^3$$

$$4. V_{N_2} = \frac{W_{N_2}}{\rho_{N_2}}$$

Dimana :

$$W_{N_2} = 5,165 \text{ kg/kg.bb}$$

$$\rho_{N_2} = 1,26 \text{ kg/m}^3$$

Maka volume gas asap yang terjadi adalah:

$$V_g = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{O_2} + V_{N_2}$$

### 2.10.6 Kebutuhan Panas Untuk Pembentukan Uap Saturasi

Adapun panas yang dibutuhkan untuk pembentukan uap jenuh (saturasi) ditentukan:

$$Q_{\text{sat}} = W_s (h_{\text{sat}} - h_a)$$

Dimana :

$$W_s = \text{Kapasitas uap (massa uap) kg/jam}$$

$$h_{\text{sat}} = \text{Entalpi uap saturasi pada temperatur } ^\circ\text{C}$$

$$h_a = \text{Entalpi air pengisi ketel pada temperatur } ^\circ\text{C}$$

pada *boiler* digunakan pipa *back pass* yang berfungsi untuk pembentukan uap saturasi. Pipa ini dipasang diantara drum atas dan drum bawah, dan pipa ini dibuat kerana pipa *water wall* terbatas kemampuannya dalam penguapan dan untuk mengantisipasi apabila pipa *water wall* telah berkurang kemampuannya untuk menghasilkan uap saturasi.

Kalor yang dibutuhkan untuk pembentukan uap saturasi pada pipa *backpass* adalah 35,0% dari jumlah total uap saturasi yang dihasilkan *boiler*.

$$Q_{bp} = 35,0\% \cdot Q_{sat}$$

Sehingga kalor yang diserap oleh pipa *water wall* untuk menghasilkan uap saturasi adalah:

$$Q_{ww} = Q_{sat} - Q_{bp}$$

### 2.10.7 Perhitungan Temperatur

1. Temperatur Gas Asap Meninggalkan Dapur (*water wall*)

$$T_{gl} = \frac{(Q_f - Q_w)}{W_g \cdot C_p}$$

Dimana :

$Q_f$  = kalor yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar =  $W_f \cdot LHV$  .

$\mu_f$

$Q_{ww}$  = kalor yang diserap oleh dapur (*water wall*)

$W_g$  = berat gas asap

$C_p$  = panas jenis gas asap

2. Temperatur gas asap meninggalkan *superheater* ( $T_{g2}$ )

Panas gas asap yang dibutuhkan oleh *superheater* ditentukan :

$$Q_{sh} = W_s (h_{sup} - h_{sat})$$

Dimana :

$W_s$  = kapasitas uap kg/jam

$h_{sh}$  = Enthalpi uap keluar *superheater*, °C

$h_{sat}$  = Enthalpi uap masuk *superheater*, °C

panas gas asap meninggalkan *superheater*

$$Q_{gms} = Q_f - Q_{ww} - Q_{sh}$$

Temperatur gas asap yang meninggalkan *superheater* adalah sebagai berikut :

$$T_{g2} = \frac{Q_{gms}}{W_g \cdot Cp}$$

Dimana :

$Q_{gms}$  = panas gas asap yang meninggalkan *superheater* kkal/jam

$W_g$  = berat gas asap kg/jam

$Cp$  = panas jenis gas asap

3. Perhitungan temperatur gas asap pada pipa *back pass*

Pipa *back pass* ditempatkan setelah pipa *superheater*, maka temperatur pada gas asap pada *pipa back pass* akan dapat dicari sebagai berikut :

Temperatur gas asap yang terjadi pada pipa *back pass* :

$$T_{g3} = \frac{Q_{bp}}{W_g \cdot Cp}$$

Dimana :

$Q_{bp}$  = panas yang dibutuhkan(diserap) pipa *back pass* kkal/jam

$W_g$  = berat gas asap kg/jam

$Cp$  = panas jenis gas asap

Panas yang dikandung gas asap meninggalkan pipa *back pass* ( $Q_{g3}$ ) adalah:

$$Q_{g3} = Q_{g2} - Q_{bp}$$

Dimana :

$Q_{gms}$  = panas yang dikandung gas asap masuk pipa *back pass* kkal/jam

$Q_{bp}$  = panas yang diserap pipa *back pass* kkal/jam

Temperatur gas asap setelah meninggalkan bidang pemanas pipa back pass adalah :

$$T_{g4} = \frac{Q_{g3}}{W_g \cdot Cp}$$

4. Perhitungan temperatur gas asap pada alat pemanas udara (APU)

Panas yang diterima udara dari gas asap dihitung dengan:

$$Q_{ud} = W_{ud} \cdot C_{ud} \cdot \Delta t$$

Dimana :

$W_{ud}$  = massa udara yang masuk keruang bakar kg/jam

$C_{ud}$  = 0,240kkal/kg°C

$\Delta t$  = selisih temperatur udara masuk dapur dengan temperatur udara °C

Panas gas asap yang meninggalkan alat pemanas udara (APU)

$$Q_{ga} = Q_{g3} - Q_{ud}$$

Dimana :

$Q_{g3}$  = panas gas asap yang meninggalkan pipa *back pass* kkal/jam

$Q_{ud}$  = panas yang diterima udara dari gas asap kkal/jam

Sehingga temperatur gas asap yang meninggalkan alat pemanas udara adalah :

$$T_{g5} = \frac{Q_{ga}}{W_g \cdot Cp}$$

Dimana :

$W_g$  = berat gas asap

$Cp$  = panas jenis gas asap

Temperatur gas asap memasuki cerobong adalah sama dengan temperatur gas asap yang meninggalkan alat pemanas udara.

### 2.10.8 Keseimbangan panas

Besarnya kalor dihitung:

$$Q_f = W_f \cdot (\text{LHV}) \cdot \mu_f \text{ (kkal/jam)}$$

Sedangkan kalor yang dipakai (berguna) terdiri dari :

- a. Kalor yang dibutuhkan untuk pembentukan uap saturasi ( $Q_{\text{sat}}$ )
- b. Kalor yang dibutuhkan untuk pembentukan uap superheater ( $Q_{\text{sup}}$ )
- c. Kalor yang diserap alat pemanas udara (APU)

$$Q_{\text{APU}} = W_a \cdot C_p \cdot (T_{u1} - T_{u2}) \text{ kkal/jam}$$

Dimana :

$W_a$  = Berat udara aktual (N)

$C_p$  = Panas jenis gas asap °C

$T_{u2}$  = Temperatur udara keluar °C

$T_{u1}$  = Temperatur udara masuk °C

### 2.10.9 Efisiensi boiler

Efisiensi ketel adalah perbandingan antara konsumsi panas (panas berguna) dengan *suplay* panas.

$$\eta_k = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \times 100 \%$$

Dimana :

$Q_{in}$  =  $Q_f$  = kalor yang dihasilkan pembakaran bahan bakar kkal/jam

Kalor yang dihasilkan pembakaran bahan bakar

$$Q_{out} = (Q_c + Q_r)$$

### 2.11 Bahan Bakar Boiler

Cangkang adalah sejenis bahan bakar padat yang berwarna hitam berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi oleh serabut. Pada bahan bakar cangkang ini terdapat berbagai kandungan antara lain : Dimana kandungan yang terkandung pada cangkang mempunyai persentase (%) yang berbeda jumlahnya. Antara lain : kalium (K) sebesar 7,5 %, natrium (Na) sebesar 1,1, kalsium ( $C_a$ ) 1,5 %, klor ( $C_l$ ) sebesar 2,8 %, karbonat ( $CO_3$ ) sebesar 1,9 %, nitrogen (N) sebesar 0,05 % posfat (P) sebesar 0,9 % dan silika ( $SiO_2$ ) sebesar 61 %.. bahan bakar cangkang ini setelah mengalami proses pembakaran akan berubah menjadi arang, kemudian arang tersebut dengan adanya udara pada dapur akan terbang sebagai ukuran partikel kecil yang dinamakan peatikel pijar. (Lenaria Bakkara, 2014). Cangkang merupakan limbah yang dihasilkan dari pemrosesan kernel inti sawit dengan bentuk seperti tempurung kelapa, mempunyai kalor 3.500 kkal/kg - 4.100 kkal/kg. Diketahui untuk 1 ton kelapa sawit akan mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang (shell) sebanyak 6,5% atau 65 kg, *wet decanter solid* (lumpur sawit) 4 % atau 40 kg, serabut (*fiber*) 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50% (Mandiri, 2012).



**Gambar 2.13** Cangkang Kelapa Sawit (*Shell*)

Serabut adalah bahan bakar padat yang berbentuk seperti rambut, apabila telah mengalami proses pengolahan berwarna coklat muda, serabut ini terdapat dibagian kedua dari buah kelapa sawit setelah kulit buah kelapa sawit. Didalam serabut dan daging buah sawitlah minyak CPO terkandung.

Panas yang dihasilkan serabut jumlahnya lebih kecil dari yang dihasilkan oleh cangkang, oleh karena itu perbandingan lebih besar serabut dari pada cangkang. Disamping serabut lebih cepat habis menjadi abu apabila dibakar, pemakaian serabut yang berlebihan akan berdampak buruk pada proses pembakaran karena dapat menghambat proses perambatan panas pada pipa water wall, akibat abu hasil pembakaran beterbangan dalam ruang dapur dan menutupi pipa water wall, disamping mempersulit pembuangan dari pintu ekspansi door (Pintu keluar untuk abu dan arang) akibat terjadinya penumpukan yang berlebihan. Serabut memiliki jumlah kalor sebesar 4.492,7436 kalori/g (4.492,7436 Kkal/kg) atau 18.719,4656 joule/g serta mengandung pati 11,550 % bb dan

mengandung selulosa 41,392 % bb, sangat cocok untuk dijadikan bahan bakar tersebut (Lab. Kimia ITB, 2010).



**Gambar 2.14** *Fiber Kelapa Sawit*

### **2.12 Proses Pembakaran Bahan Bakar**

Pembakaran bahan bakar merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen menghasilkan pertambahan temperatur. Oksigen biasanya berupa udara atau oksigen murni. Pembakaran sebagai proses oksidasi gas, cairan atau zat padat, yang menghasilkan kalor.

Terjadinya proses pembakaran diperlukan adanya tiga syarat antara lain sebagai berikut :

1. Adanya bahan bakar
2. Adanya udara (oksigen) dalam jumlah yang memadai sebagai reaksi oksidasi
3. Adanya panas sebagai proses pemicu kebakaran bahan bakar

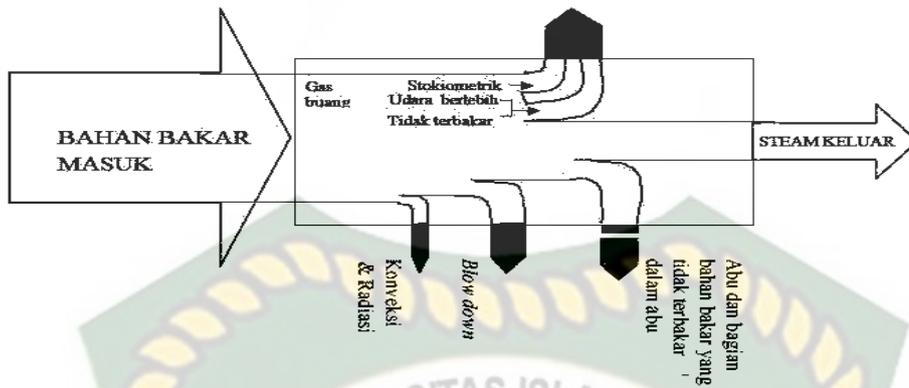
Jika salah satu dari syarat tersebut tidak terpenuhi maka pembakaran tidak akan terjadi. Jadi proses pembakaran ialah reaksi oksidasi bahan bakar oleh

oksigen dari udara yang menghasilkan energi panas api, dan hasil samping karbondioksida dan uap air. Ketika terjadi pembakaran kimia, ikatan-ikatan di dalam molekul-molekul dari reaktan menjadi terputus dan atom dan elektron tersusun ulang menjadi produk. Didalam reaksi pembakaran, elemen-elemen bahan bakar yang mudah terbakar mengalami oksidasi yang cepat sehingga mengalami pelepasan energi bersamaan dengan adanya terbentuknya hasil pembakaran. Secara teoritis, pembakaran dapat diartikan sebagai reaksi kimia berantai antara oksigen dan elemen yang mudah terbakar (*combustible element*). Proses pembakaran digunakan pada berbagai kebutuhan manusia. Untuk mendapatkan manfaat yang maksimal dari proses pembakaran yang sempurna. Syarat-syarat agar terjadinya proses pembakaran yang sempurna, yaitu :

- a. Kuantitas udara yang *disupply* ke bahan bakar cukup.
- b. Oksigen dan bahan bakar benar-benar tercampur.
- c. Campuran bahan bakar udara terjaga diatas temperatur pengapian.
- d. Volume furnace cukup luas sehingga memberikan waktu yang cukup bagi campuran bahan bakar udara untuk terbakar sempurna.

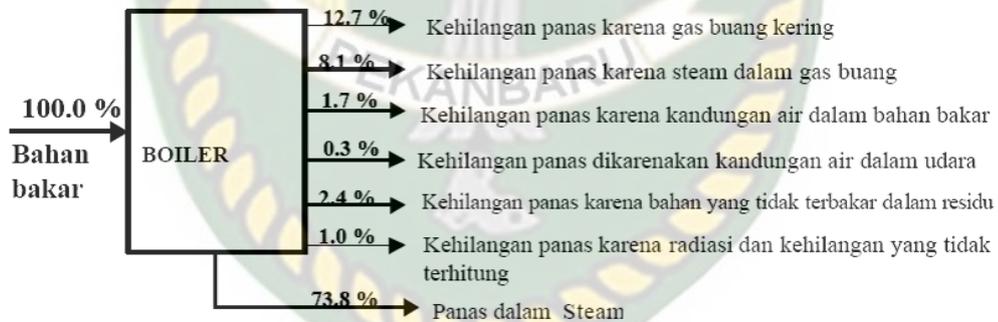
### 2.13 Neraca Panas

Proses pembakaran dalam *boiler* dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir energi. Diagram ini menggambarkan secara grafis tentang bagaimana energi masuk dalam bahan bakar diubah menjadi aliran energi dengan berbagai kegunaan dan menjadi aliran kehilangan panas dan energi. Panah tebal menunjukkan energi yang dikandung dalam aliran masing-masing bisa dilihat pada diagram neraca berikut ini :



**Gambar 2.15** Diagram Neraca Energi *Boiler*  
(sumber : UNEP, 2006)

Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk *boiler* terhadap yang meninggalkan *boiler* dalam bentuk yang berbeda. Gambar berikut ini memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi untuk pembangkit steam bisa dilihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 2.16** Kehilangan Panas Pada *Boiler*  
(Sumber : UNEP, 2006)

Kehilangan energi dapat dibagi dengan kehilangan yang tidak atau dapat dihindarkan. Tujuan dari produksi bersih atau pengkajian energi harus mengulangi kehilangan yang dapat dihindari, dengan meningkatkan efisiensi energi.

Kehilangan berikut dapat dihindari atau dikurangi dengan cara berikut :

1. Udara berlebih (diturunkan ke nilai minimum yang tergantung energi *burner*, operasi (kontrol), dan pemeliharaan).
2. Suhu gas cerobong (diturunkan dengan mengoptimalkan perawatan (pembersihan), beban :burner yang lebih baik dan teknologi (*boiler*).

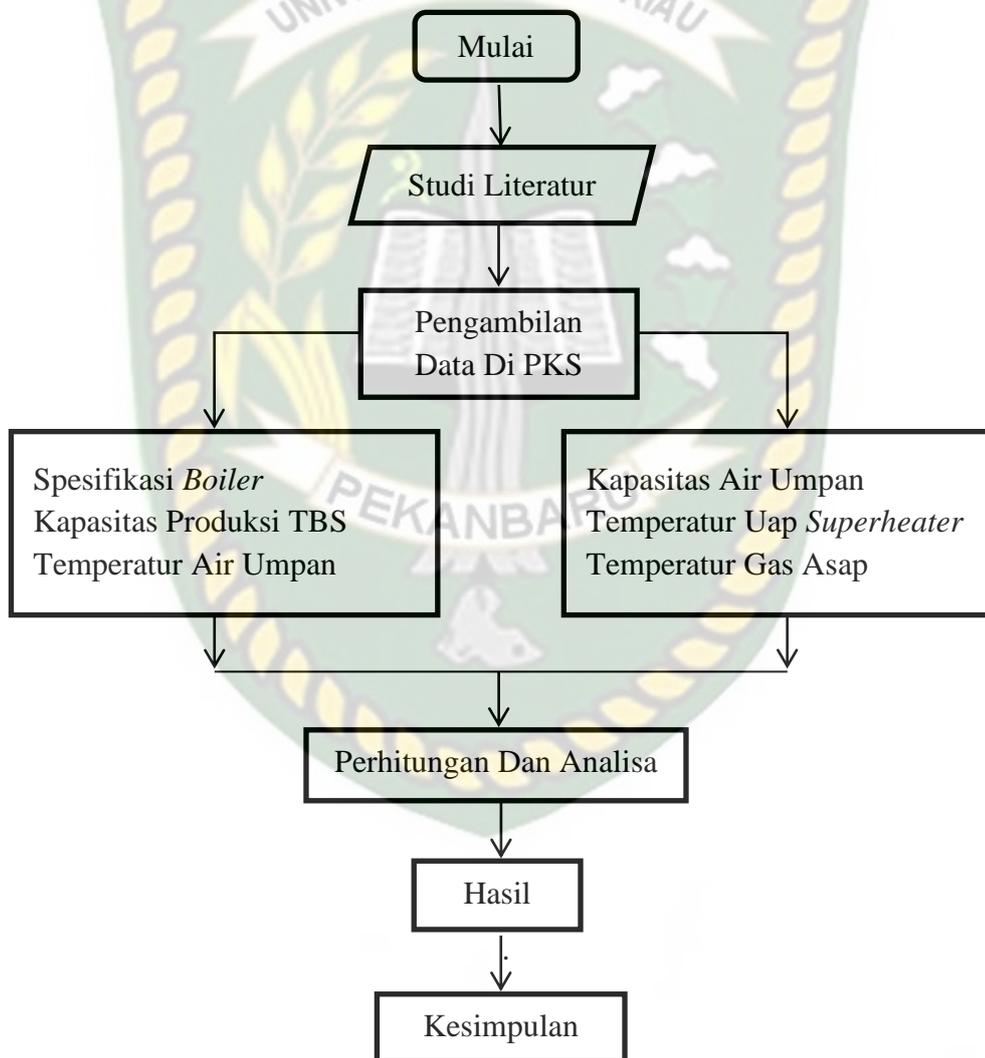
Kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu (mengoptimalkan operasi dan pemeliharaan : teknologi burner yang lebih baik),kehilangan dari *blowdown* (pengolahan air umpan segar, daur ulang kondensat), kehilangan kondensat (memanfaatkan sebanyak mungkin kondensat), kehilangan konveksi dan radiasi (dikurangi dengan isolasi *boiler* yang lebih baik).

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Untuk mempermudah dalam penelitian ini maka digunakan lah diagram alir seperti di bawah ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan pengambilan data untuk peneliti tugas akhir tentang analisa unjuk kerja boiler pemakaian bahan bakar serabut dan cangkang kelapa sawit terhadap performansi ketel uap tipe *water tube* dengan kapasitas uap 30 ton/jam, ini dilakukan pada Desember 2019 di PT.Peputra Masterindo kab,Kampar Riau.



**Gambar 3.2** PT.Peputra Masterindo

### 3.3 Bahan Dan Alat Pengujian

1. Bahan yang digunakan:

- a. Cangkang kelapa sawit (*shell*)
- b. Serabut kelapa sawit (*fiber*)

2. Alat yang digunakan dalam pengujian :

## A . Ruang Bakar

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. Bahan bakar yang digunakan cangkang dan serabut.



**Gambar 3.3** Ruang Bakar

## B .*Pressure Gauge*

*Pressure Gauge* adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan fluida (gas atau liquid) dalam tabung tertutup. Satuan dari alat ukur tekanan ini berupa psi (*pound per square inch*), psf (*pound per square foot*), mmHg (*millimeter of mercury*), inHg (*inch of mercury*), bar, ataupun atm (*atmosphere*).

Alat ini digunakan untuk mengukur tekanan steam dari boiler.



**Gambar 3.4** *Pressure Gauge*

### C. Ampere Meter

Amperemeter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur besarnya kuat arus listrik yang melewati suatu rangkaian. Alat ini digunakan untuk mengukur beban pemakaian arus listrik. Pada gambar berikut ini :



**Gambar 3.5** Ampere Meter

### 3.4 Data Boiler

Beberapa data boiler yang digunakan untuk acuan perhitungan yang telah didapatkan dari tempat penelitian yaitu sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Spesifikasi Boiler

Pabrik Manufaktur	BOILERMECH SDN. BHD. MALAYSIA
Boiler Model	BMWT-30-25
Boiler Serial Number	BMWT 0226
Tahun Manufaktur	2011
Kapasitas Boiler	30 Ton/jam
Temperatur Uap Yang Dihasilkan	280°C
Temperatur Air Pengisi Boiler	60°C
Temperatur Uap Jenuh	217°C → P = 20 Bar
Bahan Bakar Yang Digunakan	Cangkang dan serabut (fibres) kelapa sawit
Perbandingan Bahan Bakar	20/80 %

Sumber: PT.Peputra Masterindo

### 3.5 Nilai Persentase Kimia Fiber Dan Shell Kelapa Sawit

1. Pada bahan bakar serabut ini terdapat berbagai unsur kimia antara lain :  
 Carbon (C):40.16 %, Hidrogen (H<sub>2</sub>): 4,25 %, Oksigen (O<sub>2</sub>): 30,12%,  
 Nitrogen (N<sub>2</sub>): 22,29%, Dan Abu (ash): 3,18 %.
2. Pada Bahan Bakar Cangkang Ini terdapat berbagai unsur kimia antara Lain:  
 Carbon (C): 61,34%, Hidrogen (H<sub>2</sub>): 3,25%, Oksigen (O<sub>2</sub>): 31,16%,  
 Nitrogen (N<sub>2</sub>): 2,45%, dan Abu (ash): 1,80%.

### 3.1 Tabel Persentase Fiber dan Cangkang Kelapa Sawit

NO	Unsur	Fiber (%)	Cangkang (%)
1	Carbon (C)	40,16	61,34
2	Hidrogen (H <sub>2</sub> )	4,25	3,25
3	Oksigen (O <sub>2</sub> )	30,12	31,16
4	Nitrogen (N <sub>2</sub> )	22,29	2,45
5	Abu (ash)	3,18	1,80
	Total	100	100

### 3.6 Subjek Penelitian

Subjek penelitian dalam tugas akhir ini adalah mengenai komponen penting untuk melakukan proses pembakaran pada boiler, maka disini peneliti membahas berapa banyak konsumsi bahan bakar cangkang dan serabut kelapa sawit yang digunakan untuk menghasilkan uap sebesar 30ton/jam yang ada di PT.Peputra Masterindo.



**Gambar 3.6** Boiler pipa air  
PT.Peputra Master Rindo

### 3.7 Prosedur pengujian

Untuk mempermudah dalam melakukan penelitian ini maka digunakan prosedur penelitian.

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari tentang teori-teori dasar dan persamaan-persamaan yang diangkat dalam penelitian ini. Dengan tujuan untuk mendapatkan pengetahuan dasar dan data dari penelitian-penelitian sebelumnya yang dapat digunakan sebagai acuan penelitian selanjutnya.

Pada tahapan ini dilakukan studi terhadap referensi yang terdapat pada jurnal skripsi, internet, wawancara, job repport, dan lain-lain. Informasi yang dibutuhkan pada tahan ini adalah data-data yang dibutuhkan untuk menunjang dalam penulisan Tugas Akhir ini yaitu, data perusahaan yang dapat pada waktu pengambilan data lapangan, sedangkan refensi lainnya berasal dari buku, internet, wawancara, dan lain-lain.

#### 2. Pengambilan Data

Dalam pengambilan data ini adalah bagian penting yang harus dilakukan dalam Tugas Akhir ini, karena kebutuhan data yang sesuai dilapangan agar dalam tahap analisa dan perhitungan nanti akan mendapatkan hasil yang sesuai dengan keadaan dilapangan. Sehingga nantinya dapat mengevaluasi kinerja boiler yang ada di pabrik PT. Peputra Masterindo sesuai hasil perhitungan.

Dalam tahap ini pengambilan data ini melihat langsung kerja boiler saat running, mencatat data-data yang akan menjadi rujukan dalam tahap perhitungan nantinya.

- a. Komposisi Bahan Bakar Campuran
  - b. Konsumsi Bahan Bakar
  - c. Konsumsi udara pembakaran
  - d. Produksi Gas Asap
  - e. Volume gas asap
  - f. Kebutuhan Panas Untuk Pembentukan uap saturasi
  - g. Perhitungan Temperatur
  - h. Keseimbangan Panas
  - i. Efisiensi Boiler
3. Pengolahan Data

Dalam tahap perhitungan ini penulis menghitung data-data yang telah didapatkan dilapangan, karena perhitungan ini dibutuhkan untuk mengetahui kinerja boiler apakah sesuai data terdapat dilapangan dengan hasil perhitungan Tugas Akhir ini.

4. Hasil

Dalam tahap ini merupakan hasil dari perhitungan yang dilakukan penulis dari data-data yang didapat dilapangan, dan hasil dari perhitungan ini dapat untuk mengavaluasi apa hasil perhitungan penulis sesuai dengan data yang ada dilapangan.

### 3.8 Jadwal Kegiatan Penelitian

Agar penelitian tentang Analisa Unjuk kerja boiler kapasitas 30 ton uap/jam dengan menggunakan campuran bahan bakar fiber dan shell dapat berjalan optimal sesuai dengan waktu yang ditentukan maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada table 3.2 dibawah ini.

No	Jenis Kegiatan	Bulan – ke															
		1				2				3				4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pembuatan Proposal	■															
2	Studi Literatur		■	■	■												
3	Persiapan alat dan bahan					■	■	■	■								
4	Pengujian dan pengumpulan data									■	■	■	■				
5	Analisi data													■	■	■	■
6	Hasil akhir dan presentasi																■

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pabrik kelapa sawit PT. Peputra masterindo menggunakan *fiber* dan cangkang sawit sebagai bahan bakar *boiler*. Karena serabut (*fiber*) dan cangkang sawit adalah hasil limbah dari pengolahan buah sawit, maka menggunakannya sebagai bahan bakar *boiler* bertujuan untuk meningkatkan produksi sehingga tidak perlu lagi untuk membeli bahan bakar. Untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler *fiber* dan cangkang harus terlebih dahulu mengalami beberapa proses untuk mengurangi kandungan air didalam bahan bakar, sehingga meningkatkan kualitas panas yang ditimbulkan, dalam kesempatan ini penulis akan menghitung nilai kalor bahan bakar serabut dan cangkang sawit yang ada di PKS.

#### 4.1 Komposisi Bahan Bakar Campuran

Untuk mendapatkan perbandingan komposisi bahan bakar campuran dari kedua jenis bahan bakar (*fiber* dan *shell*), maka dilakukan perbandingan konsumsi bahan bakar untuk satuan-satuan berat yang sama. Persentase komposisi bahan bakar campuran berdasarkan sumber PT. Peputra Masterindo adalah *fiber* 80% dan *shell* 20 % data komposisi bahan bakar dapat dilihat pada tabel :

**Table 4.1** komposisi bahan bakar

NO	Unsur	<i>Fiber</i> (%)	Cangkang (%)
1	Carbon (C)	40,16	61,34
2	Hidrogen (H <sub>2</sub> )	4,25	3,25
3	Oksigen (O <sub>2</sub> )	30,12	31,16
4	Nitrogen (N <sub>2</sub> )	22,29	2,45
5	Abu (ash)	3,18	1,80
	Total	100	100

Pada pabrik kelapa sawit menggunakan perbandingan bahan bakar serabut (*fiber*) dan cangkang sawit adalah 80% *fiber* dan 20 % cangkang. Maka persentase bahan bakar setelah dicampur adalah sebagai berikut ini :

$$C = 0,80 (40,16) + 0,20 (61,34) = 44,39 \%$$

$$H_2 = 0,80 (4,25) + 0,20 (3,25) = 4,05 \%$$

$$O_2 = 0,80 (30,12) + 0,20 (31,16) = 30,328 \%$$

$$N_2 = 0,80 (22,29) + 0,20 (2,45) = 18,322 \%$$

$$\text{Abu} = 0,80 (3,18) + 0,20 (1,80) = 2,904 \%$$

Jumlah persentase bahan bakar adalah 100 %

Nilai kalor atas / *High Heating Value* (HHV) bahan bakar campuran

$$\begin{aligned}
 \text{HHV} &= 33915 C + 144033 (H_2 - \frac{O_2}{8}) + 10468 S \text{ (kJ/kg)} \\
 &= 33915 (0,44396) + 144033 (0,0405 - \frac{0,30328}{8}) + 10468 \times 0 \\
 &= 15429,95 \text{ kJ/kg} = 3530,372 \text{ kkal/kg}
 \end{aligned}$$

Nilai kalor bawah / *Low Heating Value* (LHV) bahan bakar campuran

$$\begin{aligned}
 \text{LHV} &= \text{HHV} - 2411 (M + 9 H_2) \text{ (kJ/kg)} \\
 &= 15429,948 - 2411 (0 + 9 \times 0,0405) \\
 &= 14551,14 \text{ kJ/kg} = 3329,301 \text{ kkal/kg}
 \end{aligned}$$

#### 4.2 Konsumsi Bahan Bakar

$$W_f = \frac{W_s \cdot (H_{sh} - H_a)}{\eta_{k.LHV}} \dots \text{pers (2.10.2)}$$

Dimana :

$W_f$  = Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan (kg/jam)

$W_s$  = Kapasitas Ketel Uap 30.000 kg/jam

$H_{sh}$  = *Entalphi* uap *superheater* 280°C Tekanan 20 kg/cm<sup>2</sup> = 2973,15 kJ/kg = 710,6 kkal/kg

$H_a$  = *Entalphi* air pengisi ketel 60°C = 60 kkal/kg

LHV = Nilai kalor bawah bahan bakar = 14551,14kJ/kg = 3329,301 kkal/kg

$\mu_k$  = Efisiensi Ketel (70-90) % = 80 % diambil

Maka :

$$W_f = \frac{30.000 \text{ kg/jam} (710,6 \text{ Kkal/kg} - 60 \text{ Kkal/kg})}{0,8 \cdot 3329,301 \text{ Kkal/kg}}$$

$$= 7.328 \text{ kg/jam}$$

#### 4.3 Konsumsi Udara Pembakaran

$$W_{a,th} = \frac{2,66 C + 7,94 H^2 + 0,998 S - O_2}{0,232} \text{ kg.udara/kg.bb.....pers (2.10.3)}$$

$$= \frac{2,66(0,44396) + 7,94(0,0405) + 0,098(0) - 0,30328}{0,232}$$

$$= 5.16 \text{ kg}_{ud}/\text{kg}_{bb}$$

Berat pembakaran actual adalah :

$$W_{a,act} = W_{a,th} + (0,3 W_{a,th}) \text{ kg ud/kg bb}$$

$$= 5,16 + (0,3 \cdot 5,16)$$

$$= 6.708 \text{ kg ud/kg bb}$$

Untuk pembakaran seluruh bahan bakar pada ketel udara yang dibutuhkan adalah :

$$W_{a,udara} = W_f \cdot W_{a,act}$$

$$= 7328,117 \text{ kg/jam} \cdot 6,708 \text{ kg ud/kg bb}$$

$$= 49.157 \text{ kg/jam}$$

$$V_{a,th} = \frac{1,865 C + 5,56 H^2 + 0,6897 S - 0,7 O_2}{0,21} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,865(0,44396) + 5,56(0,0405) + 0,6897(0) - 0,7(0,30328)}{0,21} \\
 &= 4,004 \text{ m}^3 \text{ ud/kg bb}
 \end{aligned}$$

Banyaknya volume udara aktual adalah :

$$\begin{aligned}
 V_{a,act} &= V_{a,th} + (0,3 \cdot V_{a,th}) \\
 &= 4,004 \text{ m}^3 \text{ ud/kg bb} + (0,3 \cdot 4,004 \text{ m}^3 \text{ ud/kg bb}) \\
 &= 5,2052 \text{ m}^3 \text{ ud/kg bb}
 \end{aligned}$$

Volume udara yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned}
 V_a &= W_f \cdot V_{a,act} \\
 &= 7328,117 \text{ kg/jam} \cdot 5,2052 \text{ m}^3 \text{ ud/kg bb} \\
 &= 38.144 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

#### 4.4 Produksi Gas Asap

Banyaknya gas asap yang terjadi dari 1 kg bahan bakar ditentukan dari pers(5) adalah :

$$W_g = 1 + \frac{2,66 C + 7,94 H^2 + 0,998 S - O_2}{0,232} R - A \dots \dots \dots \text{pers ( 2.10.4)}$$

Dimana :

$W_g$  = Massa gas asap (kg/bb)

$R$  = Perbandingan

$$= \frac{W_{a,act}}{W_{a,th}} = \frac{6,708}{5,16} = 1,3$$

$A$  = Persentase abu = 2,904 %

Maka :

$$W_g = 1 + \frac{2,66(0,44396) + 7,94(0,0405) + 0,998(0) - 0,30328}{0,232} (1,3 - 0,02904)$$

$$= 7,840 \text{ kg/kg bb}$$

Berat gas asap dari hasil pembakaran bahan bakar :

$$\begin{aligned} W_{g,\text{tot}} &= W_f \cdot W_g \\ &= 7328,117 \cdot 7,840 \\ &= 574.515 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Komposisi berat gas asap yang dihasilkan dari pembakaran 1 kg bahan bakar antara serabut dan cangkang adalah :

$$W_{\text{co}_2} = \frac{11}{3} C = \frac{11}{3} 0,44396 = 1,627 \text{ kg/kg bb}$$

$$W_{\text{h}_2\text{o}} = 9 \cdot H_2 = 9 \cdot 0,0405 = 0,364 \text{ kg/kg bb}$$

*Excess* oksigen adalah :

$$\begin{aligned} W_{\text{o}_2\text{excess}} &= 30 \% \cdot 23 \% (W_{a,\text{th}}) \\ &= 0,30 \cdot 0,23 \cdot 5,16 = 0,356 \text{ kg/kg bb} \end{aligned}$$

Nitrogen :

$$\begin{aligned} W_{\text{N}_2} &= 77 \% \cdot (W_{a,\text{act}}) \\ &= 0,77 \cdot 6,708 = 5,165 \text{ kg/kg bb} \end{aligned}$$

Berat gas asap basah :

$$\begin{aligned} W_{g \text{ basah}} &= 1 + (W_{\text{act}}) - A \\ &= 1 + (6,708) - 0,02904 = 7,678 \text{ kg/kg bb} \end{aligned}$$

Berat gas asap kering :

$$\begin{aligned} W_{g \text{ kering}} &= W_{g \text{ basah}} - W_{\text{h}_2\text{o}} \\ &= 7,678 - 0,364 = 7,314 \text{ kg/kg bb} \end{aligned}$$

#### 4.5 Volume gas asap

Volume gas asap (sisa pembakaran) dapat dihitung dengan mengetahui berat jenis dari gas tersebut. Volume gas asap dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$1. \quad V_{CO_2} = \frac{W_{CO_2}}{\rho_{CO_2}}$$

Dimana :

$$\rho_{CO_2} = \text{Berat jenis } CO_2 = 1,97 \frac{N}{m^3}$$

$$V_{CO_2} = \frac{1,627}{1,97} = 0,825 \text{ m}^3/\text{kg.bb}$$

$$2. \quad V_{H_2O} = \frac{W_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}$$

Dimana :

$$W_{H_2O} = 0,364 \text{ kg/kg.bb}$$

$$\rho_{H_2O} = 0,8 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{H_2O} = \frac{0,364}{0,8} = 0,455 \text{ m}^3/\text{kg.bb}$$

$$3. \quad V_{O_2} = \frac{W_{O_2}}{\rho_{O_2}}$$

Dimana :

$$W_{O_2} = 0,356 \text{ kg/kg.bb}$$

$$\rho_{O_2} = 1,43 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{O_2} = \frac{0,356}{1,43} = 0,248 \text{ m}^3/\text{kg.bb}$$

$$4. \quad V_{N_2} = \frac{W_{N_2}}{\rho_{N_2}}$$

Dimana :

$$W_{N_2} = 5,165 \text{ kg/kg.bb}$$

$$\rho_{N_2} = 1,26 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{N_2} = \frac{5,165}{1,26} = 4,099 \text{ m}^3/\text{kg bb}$$

Maka volume gas asap yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned}
 V_g &= V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{O_2} + V_{N_2} \\
 &= 0,825 + 0,455 + 0,248 + 4,099 \\
 &= 5,627 \text{ m}^3/\text{kg.bb}
 \end{aligned}$$

#### 4.6 Kebutuhan panas untuk pembentukan uap saturasi

Adapun panas yang dibutuhkan untuk pembentukan uap jenuh (*saturasi*) ditentukan :

$$Q_{\text{sat}} = W_s (h_{\text{sat}} - h_a) \dots \dots \dots \text{pers (2.10.6)}$$

Dimana :

$$W_s = \text{Kapasitas uap (massa uap)} = 30.000 \text{ kg/jam}$$

$$h_{\text{sat}} = \text{Enthalpi uap saturasi pada temperatur } 222 \text{ }^\circ\text{C} \text{ dan tekanan } 20 \text{ kg/cm}^2 = 669,3 \text{ kkal/kg}$$

$$h_a = \text{Enthalpi air pengisi ketel } 60 \text{ }^\circ\text{C} = 60 \text{ kkal/kg}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{sat}} &= 30.000 (669,3 - 60) \\
 &= 18.279.000 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Pada boiler digunakan pipa *back pass* yang berfungsi untuk pembentukan uap saturasi. Pipa ini dipasang antara drum atas dan drum bawah dan pipa ini dibuat karena pipa *water wall* terbatas kemampuannya dalam penguapan dan untuk mengantisipasi apabila pipa *water wall* telah berkurang kemampuannya untuk menghasilkan uap saturasi.

Kalor yang dibutuhkan untuk pembentukan uap saturasi pada pipa *back pass* adalah 35,0% dari jumlah total uap saturasi yang dihasilkan boiler. Maka kalor (panas) pipa *back pass* adalah :

$$\begin{aligned}
 Q_{bp} &= 35,0 \% \cdot Q_{sat} \\
 &= 35,0 \cdot 18279000 \\
 &= 6.397.650 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Sehingga kalor yang diserap oleh pipa *water wall* untuk menghasilkan uap saturasi adalah :

$$\begin{aligned}
 Q_{ww} &= Q_{sat} - Q_{bp} \\
 &= 18279000 - 6397650 \\
 &= 1.188.135 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

#### 4.7 Perhitungan Temperatur

1. Temperatur gas asap meninggalkan dapur (*water wall*)

$$T_{g1} = \frac{Q_f - Q_w}{W_g \cdot c_p} \dots\dots\dots \text{pers (2.10.7)}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 Q_f &= \text{Kalor yang dihasilkan bahan bakar} \\
 &= W_f \cdot LHV \cdot \mu_f \\
 &= 7328,117 \cdot 3329,301 \cdot 0,95 = 23.177.631 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ww} &= \text{Kalor yang diserap oleh dapur (water wall)} \\
 &= 1.188.135 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

$$W_g = \text{Berat gas asap} = 57452,43 \text{ kg/jam}$$

$$C_p = \text{Panas jenis} = 0,294 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C}$$

Maka :

$$T_{g1} = \frac{23177631 - 1188135}{57452,43 \cdot 0,294}$$
$$= 1.301 \text{ } ^\circ\text{C} = 274.301 \text{ K}$$

2. Temperatur gas asap meninggalkan superheater ( $T_{g2}$ )

$$Q_{sh} = (h_{sup} - h_{sat})$$

Dimana :

$W_s$  = Kapasitas uap 30.000 kg/jam

$h_{sh}$  = Enthalpi uap keluar superheater, temperature 280°C dan tekanan 20 kg/cm<sup>2</sup> = 710,6 kkal/kg

$h_{sat}$  = Enthalpi uap masuk superheater, temperatur 222 °C dan tekanan 20 kg/cm<sup>2</sup> = 669,3 kkal/kg ( dari Tabel uap)

Maka :

$$Q_{sh} = 30.000 (710,6 - 669,3)$$
$$= 1.239.000 \text{ kkal/jam}$$

$$Q_{gms} = Q_f - Q_{ww} - Q_{sh}$$
$$= 23177631 - 1188135 - 1239000$$
$$= 2.075.049 \text{ kkal/jam}$$

Temperatur gas asap meninggalkan superheater adalah :

$$T_{g2} = \frac{Q_{gms}}{W_g \cdot c_p}$$

Dimana :

$Q_{gms}$  = Panas gas asap meninggalkan superheater = 2.075.049 kkal/jam

$W_g$  = Berat gas asap = 57452,43 kg/jam

$C_p$  = Panas jenis gas asap = 0,294 kkal/kg °C

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 T_{g2} &= \frac{2075049}{57452,43 \cdot 0,924} \\
 &= 122,8 \text{ }^{\circ}\text{C} = 395,8 \text{ k}
 \end{aligned}$$

3. perhitungan temperatur gas asap pada pipa *back pass*

$$T_{g3} = \frac{Q_{bp}}{W_g \cdot c_p}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 Q_{bp} &= \text{Panas yang dibutuhkan (diserap) pipa } \textit{back pass} \\
 &= 6.397.650 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

$$W_g = \text{Berat gas asap} = 57452,43 \text{ kg/jam}$$

$$C_p = \text{Panas jenis gas asap} = 0,294 \text{ kkal/kg }^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 T_{g3} &= \frac{6397650}{57452,43 \cdot 0,294} \\
 &= 378,76 \text{ }^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

Panas yang dikandung gas asap meninggalkan pipa *back pass* ( $Q_{g3}$ )

$$Q_{g3} = Q_{g2} - Q_{bp}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 Q_{gms} &= \text{Panas yang dikandung gas asap masuk pipa } \textit{back pass} = \\
 &2.075.049 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

$$Q_{bp} = \text{Panas yang diserap pipa } \textit{back pass} = 6.397.650 \text{ kkal/jam}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 Q_{g3} &= 2075049 - 6397650 \\
 &= 4.322.601 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Temperatur gas asap setelah meninggalkan bidang pemanas pipa *back pass* adalah :

$$\begin{aligned}
 T_{g4} &= \frac{Q_{g3}}{W_g \cdot c_p} \\
 &= \frac{4322601}{57452,43 \cdot 0,294} = 255,9 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

4..perhitungan temperatur gas asap pada alat pemanas udara (APU)

$$Q_{ud} = W_{ud} \cdot C_{ud} \cdot \Delta T$$

Dimana :

$$W_{ud} = \text{Massa udara yang masuk keruang bakar} = 27680,84 \text{ kg/jam}$$

$$C_{ud} = \text{Panas jenis gas asap, } \frac{KJ}{Kg^\circ C}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T &= \text{Selisih temperatur udara masuk dapur dengan temperature udara} \\
 &= (75 - 30) \text{ } ^\circ\text{C} = 45 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 Q_{ud} &= 27680 \cdot 0,240 \cdot 45^\circ\text{C} \\
 &= 298.953 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Panas gas asap yang meninggalkan alat pemanas udara

$$Q_{ga} = Q_{g3} - Q_{ud}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 Q_{g3} &= \text{Panas gas asap yang meninggalkan pipa } \textit{back pass} \\
 &= .322.601\text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

$$Q_{ud} = \text{Panas yang diterima udara dari gas asap} = 298.953 \text{ kkal/jam}$$

Maka :

$$Q_{ga} = (4322601 - 298953) \text{ kkal/jam}$$

$$= 4.023.648 \text{ kkal/jam}$$

Sehingga temperatur yang meninggalkan alat pemanas udara adalah:

$$T_g = \frac{Q_{ga}}{W_g \cdot c_p}$$

$$= \frac{4023648}{57452,43 \cdot 0,246} = 284,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatur memasuki cerobong adalah sama dengan temperatur gas asap yang meninggalkan alat pemanas udara.

#### 4.8 keseimbangan panas

$$Q_f = W_f \cdot (\text{LHV}) \mu_f \dots\dots\dots \text{pers (2.10.8)}$$

$$= 7328,117 \cdot 3329,301 \cdot 0,95$$

$$= 23.177.631 \text{ kkal/jam}$$

Sedangkan kalor yang dipakai :

- a. Kalor yang dibutuhkan untuk pembentukan uap saturasi ( $Q_{\text{sat}}$ )

$$Q_{\text{sat}} = 18.279.000 \text{ kkal/jam}$$

- b. Kalor yang dibutuhkan uap superheater ( $Q_{\text{sup}}$ )

$$Q_{\text{sup}} = 1.239.000 \text{ kkal/jam}$$

- c. Kalor yang diserap alat pemanas (APU)

$$Q_{\text{apu}} = W_a \cdot c_p (T_{u2} - T_{u1}) \text{ kkal/jam}$$

Dimana :

$$W_a = \text{Laju aliran massa udara aktual} = 27680,84 \text{ kg/jam}$$

$$C_p = \text{Panas jenis gas asap pada tekanan konstan} = 0,240 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

$$T_{u2} = \text{Temperatur udara keluar APU} = 75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{u1} = \text{Temperatur udara masuk APU} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Maka ;

$$\begin{aligned}
 Q_{APU} &= 27680,84 \cdot 0,240 \cdot (75 - 30) \\
 &= 298953,0 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Adapun kalor yang hilang (kerugian kalor) terdiri atas :

1. Kalor yang hilang terbawa gas asap ke *steck* (cerobong asap)

$$Q_c = W_f \cdot V_g \cdot c_p (t_c - t_u) \text{ kkal/jam}$$

Dimana :

$$W_f = \text{Konsumsi bahan bakar} = 7.328 \text{ kg/jam}$$

$$V_g = \text{Volume jenis gas asap} = 5,627 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$C_p = \text{Panas jenis gas asap pada tekanan konstan} = 0,332 \text{ kkal/m}^3\text{°C}$$

$$t_c = \text{Temperatur gas asap memasuki cerobong} = 221,3\text{°C}$$

$$t_u = \text{Temperatur udara luar} = 30 \text{ °C (suhu dilapangan)}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 Q_c &= 7328,117 \text{ kg/jam} \cdot 5,627 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot 0,332 \text{ kkal/m}^3 \cdot (221,3 - 30) \text{ °C} \\
 &= 2.618.919 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

2. Kalor yang hilang akibat radiasi pada instalasi ketel ( $Q_r$ )

$$Q_r = Q_f - (Q_{sat} + Q_{sup} + Q_{APU} + Q_c)$$

$$Q_f = \text{Kalor yang dihasilkan bahan bakar} = 2.3177.631 \text{ kkal/jam}$$

$$Q_{sat} = \text{Kalor yang dibutuhkan untuk uap saturasi} = 18.279.000 \text{ kkal/jam}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{sup} &= \text{Kalor yang dibutuhkan pembentukan uap superheater} = 123.900 \\
 &\text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{APU} &= \text{Kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan udara} = 298953,0 \\
 &\text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

$Q_c$  = Kalor yang hilang terbawa gas asap kecerobong = 2.618.919 kkal/jam

Maka :

$$\begin{aligned}
 Q_r &= 23177631 - (18279000 + 123900 + 298953,0 + 2618919) \\
 &= 202.597 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

#### 4.9 Efisiensi Boiler

Efisiensi ketel adalah perbandingan antara konsumsi panas (panas berguna) dengan *suplay* panas.

$$\eta_k = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots \text{pers (2.10.9)}$$

Dimana :

$$Q_{in} = Q_f = 23177631 \text{ kkal/jam} \text{ kalor yang dihasilkan pembakaran}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{out} &= (Q_c + Q_r) \\
 &= 2618919 + 202597 \\
 &= 2.821.516 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Maka :

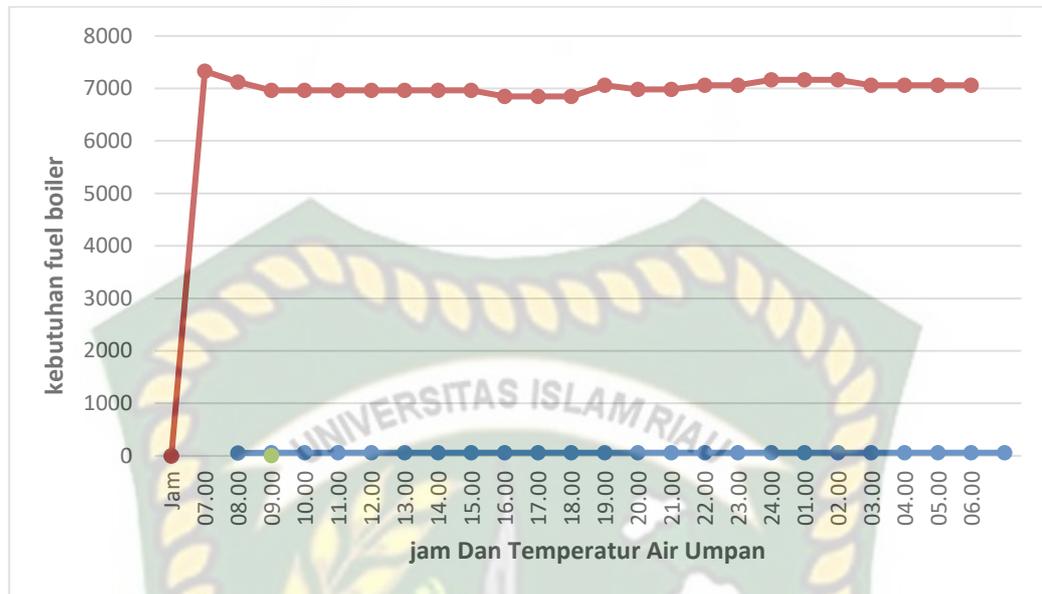
$$\begin{aligned}
 \mu_k &= \frac{23177631 - 2821516}{23177631} \times 100 \% \\
 &= 87,826 \%
 \end{aligned}$$

#### 4.10 Grafik Analisa Pemakaian Bahan Bakar *Boiler*

Sesuia dengan hasil perhitungan maka didapat jumlah pemakaian bahan bakar yang digunakan di PT.Peputra Masterindo perjamnya dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini :

**Table 4.2** jumlah pemakaian bahan bakar boiler

NO	Jam	Temperatur air umpan°C	Kebutuhan <i>Fuel</i> boiler ( $W_f$ ) kg/jam
1	07.00	55	7.328,1
2	08.00	60	7.124,4
3	09.00	60	6.966,2
4	10.00	60	6.966,2
5	11.00	60	6.966,2
6	12.00	60	6.966,2
7	13.00	60	6.966,2
8	14.00	60	6.966,2
9	15.00	60	6.966,2
10	16.00	58	6.849,7
11	17.00	58	6.849,7
12	18.00	58	6.849,7
13	19.00	58	7.063,0
14	20.00	58	6.983,2
15	21.00	58	6.983,2
16	22.00	58	7.062,2
17	23.00	58	7.062,2
18	24.00	58	7.166,2
19	01.00	59	7.166,2
20	02.00	59	7.166,2
21	03.00	59	7.060,2
22	04.00	59	7.060,2
23	05.00	59	7.060,2
24	06.00	59	7.060,2



**Gambar 4.1** Grafik Jumlah Pemakaian Bahan Bakar

Analisa pada grafik di atas adalah adanya pengaruh temperatur awal air umpan terhadap jumlah pemakaian bahan bakar di tiap jam-nya. Dimana jika temperatur air umpan semakin tinggi maka waktu untuk merubah air menjadi uap lebih cepat dan hal ini berpengaruh terhadap jumlah pemakaian bahan bakar yang sedikit berkurang. Dimana konsumsi bahan bakar yang terbesar terjadi pada temperatur  $55^{\circ}\text{C}$  dan  $60^{\circ}\text{C}$  yang jumlah konsumsinya mencapai  $7.328,1 \text{ kg/jam}$ ,  $7.124,4 \text{ kg/jam}$  dikarenakan air umpan yang masuk didalam boiler rendah dan pada suhu tersebut boiler akan melakukan proses produksi maka konsumsi yang digunakan untuk merubah air menjadi uap besar, dan konsumsi bahan bakar yang sedang terjadi pada temperatur  $60^{\circ}\text{C}$  yang konsumsinya mencapai  $6.966,2 \text{ kg/jam}$  dikarenakan suhu air umpan yang masuk ke dalam boiler tinggi dan pada suhu tersebut boiler sudah bekerja secara normal, dan konsumsi bahan

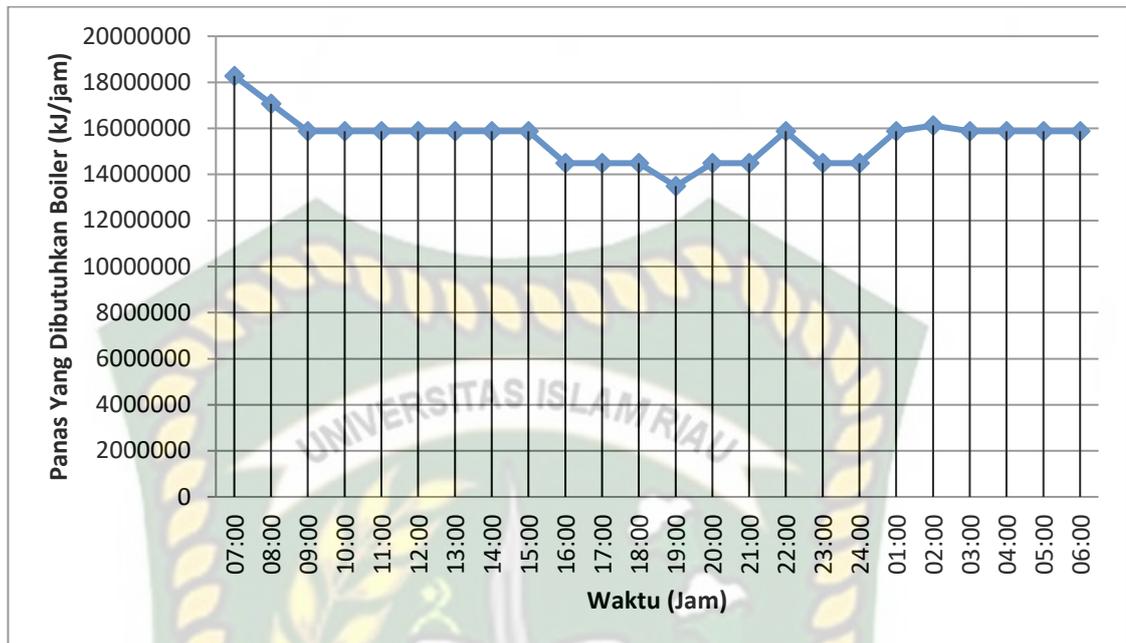
bakar yang sedikit terjadi pada suhu 58 °C yang konsumsi bahan bakar nya mencapai 6.849,7 kg/jam.

#### **4.11 Grafik Jumlah Panas Yang dibutuhkan *Boiler***

Untuk menghitung panas tiap jam nya yang dibutuhkan *boiler* di pabrik kelapa sawit Masterindo yaitu dengan cara perkalian antra massa uap yang diproduksi dengan perubahan entalpi uap, dimana jumlah uap superheater di kurangi dengan jumlah entalpi air umpan boiler. Temperature air umpan *boiler* sangat berpengaruh terhadap jumlah panas yang dibutuhkan untuk mengubah air menjadi uap panas lanjut, dimana jika temperatur air umpan semangkin tinggi maka panas yang dibutuhkan untuk merubah air menjadi uap semangkin berkurang. Kita dapat melihat perbandingan nya pada tabel grafik dibawah ini:

**Tabel 4.3** Jumlah Panas Yang Dibutuhkan *Boiler* Tiap Jam

NO	Jam/ Running	Kebutuhan Panas (Q) kJ/kg
1	07:00	18.279.000
2	08:00	17.066.100
3	09:00	15.880.800
4	10:00	15.880.800
5	11:00	15.880.800
6	12:00	15.880.800
7	13:00	15.880.800
8	14:00	15.880.800
9	15:00	15.880.800
10	16:00	14.489.900
11	17:00	14.489.900
12	18:00	14.489.900
13	19:00	13.489.900
14	20:00	14.489.900
15	21:00	14.489.900
16	22:00	15.880.800
17	23:00	14.489.900
18	24:00	14.489.900
19	01:00	15.880.800
20	02:00	16.125.800
21	03:00	15.880.800
22	04:00	15.880.800
23	05:00	15.880.800
24	06:00	15.880.800



**Gambar 4.2** Grafik Jumlah Panas Yang Dibutuhkan *Boiler* (kJ/jam)

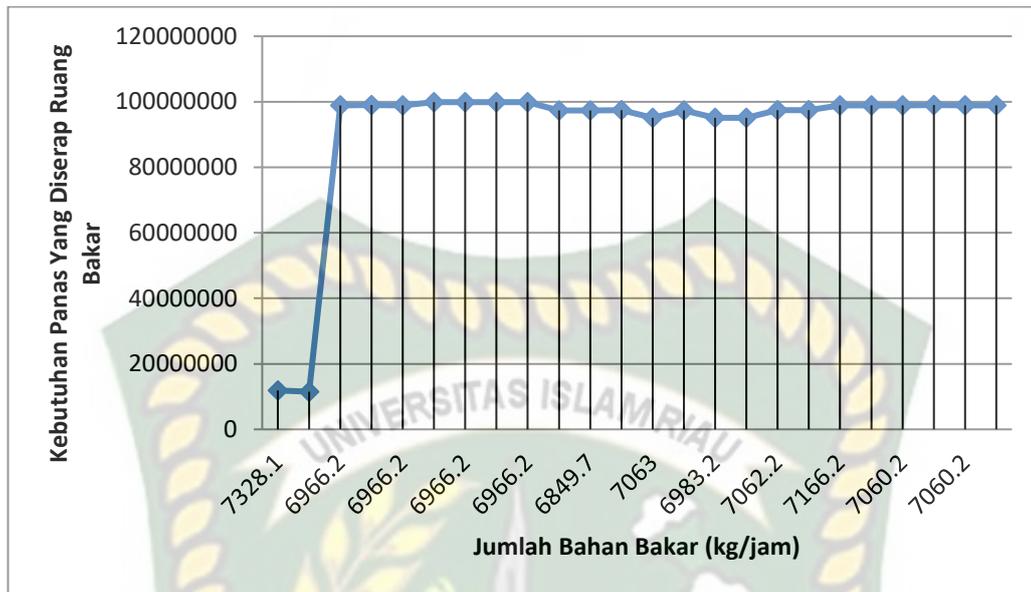
Pada grafik diatas menunjukkan adanya pengaruh entalpi uap superheater dan air umpan pada *boiler* dikarenakan apabila air umpan yang masuk kedalam *boiler* rendah maka panas yang dibutuhkan *boiler* untuk merubah air menjadi uap akan besar. Panas yang dibutuhkan *boiler* yang tertinggi terjadi pada jam 7:00 panas yang dibutuhkan boiler mencapai 18.279.000 kJ/kg hal ini terjadi karena pada waktu 7:00 boiler digunakan untuk proses produksi dan bahan bakar yang digunakan pun besar, sedangkan panas yang dibutuhkan boiler sedang terjadi pada 9:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00, 1:00, 3:00, 5:00, 6:00, panas yang dibutuhkan sebesar 15.880.800 kJ/kg hal ini karena boiler sudah mulai proses produksi maka panas yang dibutuhkan sedang, dan panas yang dibutuhkan boiler yang terjadi pada jam 19:00, 21:00, dan 22:00 karena pada waktu tersebut boiler hanya digunakan untuk menghasilkan uap untuk memutar sudu-sudu turbin sebagai sumber listrik di PT.Peputra Masterindo.

#### 4.12 Grafik Analisa Panas Yang Diserap Ruang Bakar

Sesuai dengan hasil perhitungan panas yang dibutuhkan ruang bakar boiler PT. Peputra Masterindo dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini :

**Tabel 4.4** Panas Yang Diserap Ruang Bakar

NO	Bahan Bakar (kg/jam)	Panas Yang Diserap Ruang Bakar (kkal/jam)
1	7.328,1	11.881.350,1
2	7.124,4	11.502.966,3
3	6.966,2	98.864.274,7
4	6.966,2	98.998.488,1
5	6.966,2	99.864.274,7
6	6.966,2	99.886.427,7
7	6.966,2	99.886.427,7
8	6.966,2	99.886.427,7
9	6.966,2	99.886.427,7
10	6.849,7	97.300.688,6
11	6.849,7	97.300.688,6
12	6.849,7	97.441.612,6
13	7.063,0	95.063.351,2
14	6.983,2	97.300.688,6
15	6.983,2	95.063.351,2
16	7.062,2	95.063.351,2
17	7.062,2	97.441.612,6
18	7.166,2	97.441.612,6
19	7.166,2	98.864.274,7
20	7.166,2	98.864.274,7
21	7.060,2	98.864.274,7
22	7.060,2	98.998.488,1
23	7.060,2	98.864.274,7
24	7.060,2	98.864.274,7



**Gambar 4.3** Grafik Hubungan Antara Kebutuhan Panas Yang Diserap Ruang Bakar Dengan Jumlah Bahan Bakar

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa besarnya jumlah bahan bakar yang digunakan pada *boiler* sangat berpengaruh pada jumlah panas yang diserap oleh ruang bakar *boiler*, dimana jika bahan bakar yang digunakan besar maka panas yang diserap oleh ruang bakar akan besar pula begitu juga apa bila bahan bakar yang digunakan pada *boiler* sedikit maka panas yang diserap oleh *boiler* sedikit, table diatas menunjukkan bahwa panas yang terbesar terjadi pada konsumsi bahan bakar sebesar 7.328,1 kg/jam, 7.124,4 kg/jam, dan panas yang dihasilkan mencapai 11.881.350,1 Kkal/jam, 11.502.966,3 Kkal/jam hal ini disebabkan karena pada konsumsi bahan bakar tersebut *boiler* akan digunakan untuk melakukan proses produksi, dan panas yang diserap oleh ruang bakar yang sedang terjadi pada konsumsi bahan bakar sebesar 6.966,2 kg/jam dan panas yang dihasilkan mencapai 98.864.274,7 kkal/jam pada konsumsi tersebut *boiler* keadaan sedang melakukan proses produksi, dan panas yang diserapruang bakar

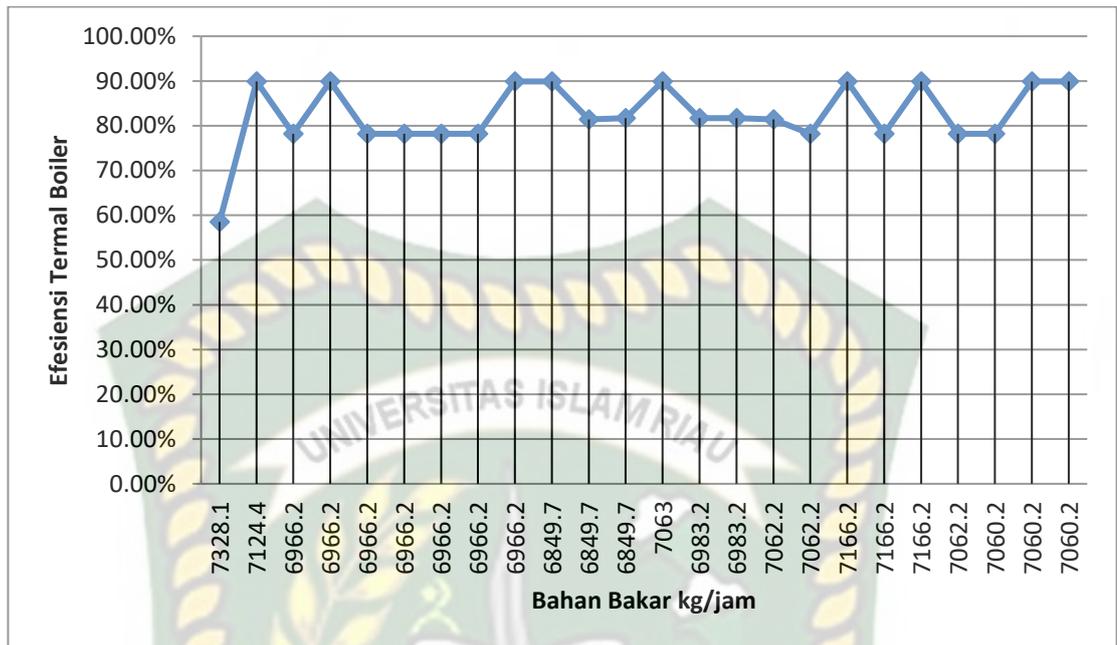
yang terendah terjadi pada konsumsi bahan bakar 6.849,7 kg/jam dan panas yang dihasilkan mencapai 97.300.688,6 kkal/jam.

#### 4.3 Grafik Efisiensi *Thermal Boiler* Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Sesuai dengan hitungan efisiensi thermal *boiler* tiap jamnya di PT.Peputra Masterindo dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut :

**Tabel 4.5** Nilai Efisiensi Thermal Boiler Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

NO	Bahan Bakar kg/jam	Efisiensi Thermal Boiler %
1	7.328,1	58,5
2	7.124,4	89,9
3	6.966,2	78,2
4	6.966,2	89,9
5	6.966,2	78,2
6	6.966,2	78,2
7	6.966,2	78,2
8	6.966,2	78,2
9	6.966,2	89,9
10	6.849,7	89,9
11	6.849,7	81,4
12	6.849,7	81,7
13	7.063,0	89,9
14	6.983,2	81,7
15	6.983,2	81,7
16	7.062,2	81,4
17	7.062,2	78,2
18	7.166,2	89,9
19	7.166,2	78,2
20	7.166,2	89,9
21	7.062,2	78,2
22	7.060,2	78,2
23	7.060,2	89,9
24	7.060,2	89,9



**Gambar 4.4** Grafik Nilai Efisiensi Thermal *Boiler* Terhadap Bahan Bakar

Pada grafik diatas sesuai dengan perhitungan didapat nilai Efisiensi Thermal boiler terhadap bahan bakar adalah sebesar 78,2% sampai 81,4%. Hasil ini didapat dengan menggunakan perhitungan efisiensi *boiler* dengan menggunakan metode langsung. Dimana yang jadi parameternya adalah jumlah panas yang berguna dibagi dengan jumlah panas yang masuk.

Penyebab terjadinya perbedaan nilai efisiensi termal ini adalah dipengaruhi oleh temperature air umpan yang berbeda-beda tiap jam nya dan temperatur disuperheater juga cenderung berbeda. Jika temperatur air umpan tinggi dan temperatur superheater tinggi serta tekanan kerja boiler mencapai 19-20 kg/cm<sup>2</sup> maka akan meningkatkan nilai efisiensi termis *boiler* tersebut atau sebaliknya jika tekanan boiler rendah maka nilai efisiensi termisnya akan menurun.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari perhitungan dan analisa tugas akhir ini didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya adalah:

1. Kinerja ketel untuk memproduksi uap dengan merujuk data-data operasi yang tercatat adalah :
  - a. Besarnya efesiensi boiler adalah sebesar 87,826 %
  - b. Nilai kalor bahan bakar campuran serabut dan cangkang 3.329,301 kkal/kg
  - c. Kalor yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar 23.177.631 kkal/jam
2. Jumlah konsumsi bahan bakar *boiler* berdasarkan data lapangan untuk kapasitas uap 30.000 kg/jam fiber dan shell sebesar 8.000 kg/jam. Sedangkan secara teoritis untuk kapasitas uap 30.000 kg/jam, maka akan dibutuhkan bahan bakar *fiber* dan *shell* sebesar 7.328,117 kg/jam setiap jam. Disini dapat kita lihat terdapat deviasi yang terjadi sangat signifikan antara data lapangan dan data teoritis yaitu sebesar 671,883 kg/jam setiap jam.
3. Boiler kapasitas 30 ton uap/jam dapat menghasilkan tekanan sebesar 20 bar, tekanan yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin sebesar 18 bar , sementara tekanan 2 bar didistribusikan ke stasiun perebusan

dan untuk memanaskan minyak cpo. Dan daya listrik yang didapatkan untuk menggerakkan turbin setelah turbin hidup sebesar 700 kw atau 1.330 Amper.

4. Perawatan dan pemeliharaan *boiler* yang dilakukan meliputi perawatan harian, mingguan, enam bulan, dan pemeliharaan tahunan. Perawatan ini dilakukan agar *boiler* dapat bekerja tanpa gangguan dan memperpanjang umur pakai *boiler*.

## 5.2 Saran

Untuk mendapatkan nilai efisiensi *boiler* tiap jamnya sebesar 78,2 % sampai 81,4 % hasil ini dapat menggunakan metode langsung dimana yang jadi parameternya adalah jumlah panas yang berguna dibagi dengan jumlah panas yang masuk. Bahan bakar yang efisiensi agar tidak terjadi pengerakan pada ruang bakar adalah 75% serabut dan 25% cangkang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Basyirun, 2008. *Mesin Konversi Energi*, PKUPT UNNES/ Pusat Penjamin Mutu, Semarang,.
- Bernard, 2002. *Efisiensi dan Optimasi Bahan Bakar Boiler*, PT. Sari Lembah Subur Ukui.
- Cengel, Y dan M. Boles. 1989. *Thermodynamic An Engineering Approach*. Fifth edition. McGraw-Hill Book. New York
- Djokosetyarjo, M.J. 1999. *Ketel Uap*. Jakarta: PT.Pradnya Paramata
- Djokosetyardjo.M.J, ''Ketel Uap''Pradnya Paramita, Jakarta, 2003
- Dewata et al. 2011. *Analisa Teknis Evaluasi Kinerja Boiler Type Ihi Fw Sr Single Drum Akibat Kehilangan Panas Di Pltu Pt. Pjb Unit Pembangkitan Gresik*. Jurnal Jurusan Teknik Sistem Perkapalan-Fakultas Teknologi Kelautan-Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Fahrizal. 2014. *Analisa Availibility Kinerja Boiler Pada PT.Rohul Sawit Indah*, *Journal APITEK Vol.6 No 2, Teknik Mesin Universitas Pasir Pengaraian, 2 Juni 2014*
- Hasibuan, C.H dan Farel, H.N. 2013. *Analisa Pemakaian Bahan Bakar Dengan Melakukan Pengujian Nilai Kalor Terhadap Perfomansi Ketel Uap Tipe Pipa Air Dengan Kapasitas Uap 60 Ton/Jam*. Jurnal e-Dinamis, Volume 4, No.4 Maret 2013 ISSN 2338-1035.
- Hamzah, J. 2016. *Analisa Kinerja Boiler dengan Kapasitas uap 40 ton/jam*, *Tugas Akhir Program Sarjana Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru*.

*Pekanbaru; STTP.*

J.P. Holman, “Perpindahan Kalor” Erlangga Ciracas, Jakarta 13740. 1997

Reynold, W. C. Dkk. 1998. “Thermodinamika Teknik”. Jakarta: Erlangga,

Syamsir dkk. 1988. Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap).  
Jakarta:Rajawali Pers.

Muin S.A, “Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)”Rajawali, Jakarta, 1988

Winanti, W. S. dan Prayudi, T. 2006, Perhitungan Efisiensi Boiler pada Industri  
Tepung Tiregu. *Jurnal Teknik Lingkungan. Edisi Khusus, ISSN 141-138X,*  
*Jakarta, Juli 2006.*