

**EFISIENSI PEMBAKARAN PADA RUANG BAKAR BOILER  
UNTUK KEBUTUHAN UAP 60 TON / JAM DENGAN  
TEKANAN 20 BAR MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR KAYU  
DAN AMPAS TEBU**

**SKRIPSI**



**Disusun Oleh :**

**TRI ANANDA AKBAR SITEPU**

**15 813 0048**

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

**EFISIENSI PEMBAKARAN PADA RUANG BAKAR BOILER  
UNTUK KEBUTUHAN UAP 60 TON / JAM DENGAN  
TEKANAN 20 BAR MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR KAYU  
DAN AMPAS TEBU**

**SKRIPSI**

Di ajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Untuk Mendapatkan  
Gelar Sarjana Di Fakultas Teknik Mesin  
Universitas Medan Area

**Disusun Oleh :**

**TRI ANANDA AKBAR SITEPU**

**15 813 0048**

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

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : EFISIENSI PEMBAKARAN PADA RUANG BAKAR BOILER UNTUK KEBUTUHAN UAP 60 TON/JAM DENGAN TEKANAN 20 BAR MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR KAYU DAN AMPAS TEBU

Nama : TRI ANANDA AKBAR SITEPU

NPM : 15 813 0048

Program Studi : TEKNIK MESIN

Fakultas : TEKNIK

Disetujui Oleh Komisi Pembimbing

Medan, 24 februari 2020  
Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



(Muhammad Idris, ST., MT.)  
NIP/NIDN. 0106058104



(Ir. H. Amirsyam Nasution, MT.)  
NIP/NIDN. 0025125606

Dekan Fakultas Teknik

Diketahui Oleh:  
Ka. Prodi Teknik Mesin / WD I



(Dr. Grace Yuswita Harahap, ST., MT.)  
NIP/NIDN. 0124127101



(Zulfikar, ST., MT.)  
NIP/NIDN. 0007127307

## **HALAMAN PERNYATAAN**

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

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

Medan, 24 februari 2020



*Handwritten signature of Tri Ananda Akbar Sitepu*

TRI ANANDA AKBAR SITEPU  
NIM 158130048



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : TRI ANANDA AKBAR SITEPU  
NPM : 15 813 0048  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Fakultas : TEKNIK  
Jenis karya : Tugas Akhir / Skripsi Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, Menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif ( Non-eksklusive Royalty-Free Right )** atas karya ilmiah saya yang berjudul : **EFISIENSI PEMBAKARAN PADA RUANG BAKAR BOILER UNTUK KEBUTUHAN UAP 60 TON/JAM DENGAN TEKANAN 20 BAR MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR KAYU DAN AMPAS TEBU.** Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/Formatkan, Mengolah dalam bentuk pangkalan data ( Database ), Merawat dan Mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 24 februari 2020

Saya Yang Menyatakan

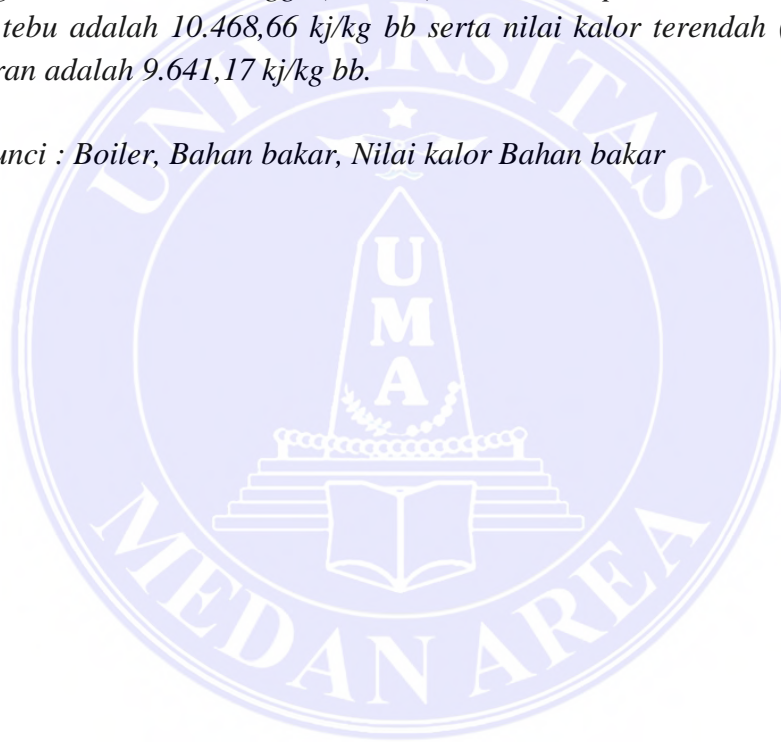


TRI ANANDA AKBAR SITEPU  
NIM 158130048

## **ABSTRAK**

*Beberapa factor yang mempengaruhi efisiensi boiler adalah tekanan superheater, temperature air umpan, temperature uap, jumlah bahan bakar dan nilai kalor bahan bakar. Maka ruang bakar boiler memegang peranan yang sangat penting dalam melakukan pembakaran untuk menghasilkan energi panas yang digunakan untuk merebus air dalam pipa, Dengan kapasitas 60 ton uap/jam dengan tekanan 20 bar dengan menggunakan bahan bakar kayu dan ampas tebu. Maka didapat nilai kalor tertinggi ( HHV ) adalah 8.228,46 kj/kg bb serta nilai kalor terendah ( LHV ) adalah 7.566,47 kj/kg bb pada bahan ampas tabu sedangkan pada bahan kayu didapat nilai kalor tertinggi ( HHV ) adalah 17.203,67 kj/kg bb serta nilai kalor terendah ( LHV ) adalah 15.879,69 kj/kg bb Sehingga nilai kalor tertinggi ( HHV ) antara campuran 25% kayu dan 75% ampas tebu adalah 10.468,66 kj/kg bb serta nilai kalor terendah ( LHV ) untuk campuran adalah 9.641,17 kj/kg bb.*

*Kata kunci : Boiler, Bahan bakar, Nilai kalor Bahan bakar*

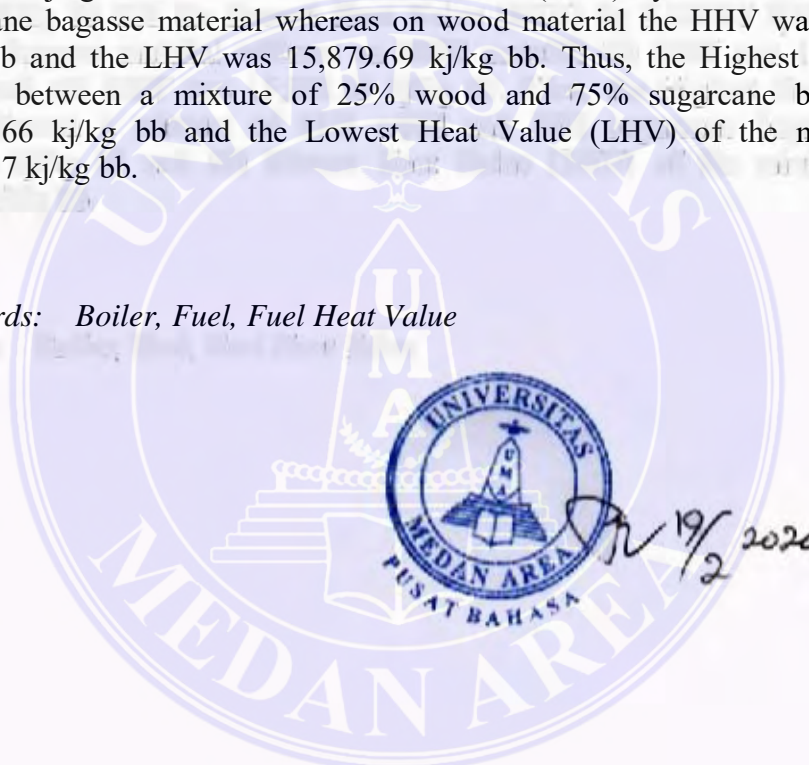


## ABSTRACT

**Tri Ananda Akbar Sitepu. 158130048. "The Combustion Efficiency in the Boiler Combustion Chamber for the Steam Need of 60 Tons/Hours at 20 Bars Pressure Using Fuel of Wood and Sugarcane Bagasse". Supervised by Ir. H. Amirsyam Nasution, M.T. and Muhammad Idris, S.T., M.T.**

Some affecting factors to the boiler efficiency are superheater pressure, feed water temperature, steam temperature, amount of fuel, and fuel heat value. Therefore, the boiler combustion chamber has the most important role in conducting combustion to produce heat energy used to boil water inside the pipe, with a capacity of 60 tons of steam/hour at 20 bars pressure by using fuel of wood and sugarcane bagasse. Then, it was obtained the Highest Heat Value (HHV) by 8,228.46 kJ/kg bb and the Lowest Heat Value (LHV) by 7,566.47 kJ/kg bb on sugarcane bagasse material whereas on wood material the HHV was 17,203.67 kJ/kg bb and the LHV was 15,879.69 kJ/kg bb. Thus, the Highest Heat Value (HHV) between a mixture of 25% wood and 75% sugarcane bagasse was 10,468.66 kJ/kg bb and the Lowest Heat Value (LHV) of the mixture was 9,641.17 kJ/kg bb.

*Keywords: Boiler, Fuel, Fuel Heat Value*





## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur peneliti ucapkan kehadiran Allah SWT, Yang telah memberikan rahmat-nya berupa kesempatan dan kesehatan sehingga peneliti dapat menyelesaikan penelitian ini sebagaimana sesuai dengan yang diharapkan.

Penelitian ini diselesaikan tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak. Oleh karena itu peneliti mengucapkan terima kasih kepada :

1. Teristimewah buat ayahanda H. Terus sitepu dan Ibunda Hj.Mariani ginting s.pd yang telah banyak memberikan pengorbanan demi cita-cita bagi kehidupan penulis, serta abanda-abanda yang telah banyak memberi doa dan dorongan moril sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Dadan Ramdan, M.Eng. M.sc Selaku Rektor Universitas Medan Area
3. Ibu Dr. Grace Yuswita Harahap,ST,MT, Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Ibu Susilawati, S.Kom, M.Kom Selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Universitas Medan Area.
5. Bapak Zulfikar, ST, MT, Selaku Kaprodi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
6. Bapak Ir. H. Amirsyam Nasution, MT Selaku Dosen pembimbing 1.
7. Bapak Muhammad Idris, ST, MT Selaku Dosen pembimbing 2.
8. Bapak Anan Aryusi,S.TP.MM Selaku Manager Pabrik Gula Kwala Madu
9. Bapak J.H.Purba,ST Selaku Kepala Dinas Teknik Pabrik Gula Kwala Madu.
10. Bapak Rahmat Kurniawan, ST. Selaku Pembimbing Lapangan Di Pabrik Gula Kwala Madu.
11. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin yang tulus Membantu Dalam Mengerjakan Skripsi Saya ini.

Penulis menyadari atas segala keterbatasan ilmu yang ada pada penulis dalam penyelesaian penelitian ini, untuk itu penulis mengharapkan saran, Kritik



yang sifatnya membangun dan ide-ide baru untuk lebih menyempurnakan penelitian ini.

Akhirnya kepada Allah SWT penulis berserah diri semoga kita selalu dalam lindungan serta limpahan rahmat-Nya dengan kerendahan hati penulis mohon maaf atas segala kekurangan semoga penelitian ini bermanfaat bagi kita semua.

Stabat, 24 Februari 2020

Peneliti



**TRI ANANDA AKBAR SITEPU**



## DAFTAR ISI

### JUDUL

<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>

<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	2
1.2. Perumusan masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI.....</b>	<b>4</b>
2.1 Sejarah Perkembangan Boiler .....	4
2.2 Definisi Boiler ( ketel uap ).....	5
2.3 Klasifikasi Ketel uap.....	7
2.3.1 Berdasarkan Fluida yang mengalir dalm pipa .....	7
2.3.2 Berdasarkan Penggunaanya .....	9
2.3.3 Berdasarkan Letak Dapur ( furnace Position ) .....	10
2.3.4 Berdasarkan Jumlah Lorong.....	11
2.3.5 Berdasarkan Jenis Bahan Bakar.....	12
2.4. Bagian-Bagian Ketel Uap ( Boiler ) .....	12
2.4.1 Ruang bakar ( Furnace ) .....	12
2.4.2 Drum Ketel Uap ( Steam Boiler Drum) .....	13
2.4.3 Pembuangan Gas / Cerobong Asap.....	13
2.4.4 Pipa Waterwall.....	14

2.4.5 Pipa Backpass .....	15
2.4.6 Header .....	15
2.5 Sistem Reaksi Pembakaran .....	15
2.5.1 Hal yang harus diperhatikan dalam proses pembakaran ....	17
2.6 Bahan Bakar Boiler.....	18
2.6.1 Bahan Bakar Padat .....	18
2.6.2 Bahan Bakar Cair .....	19
2.6.3 Bahan Bakar Gas.....	19
2.7 Nilai Kalor ( Heating Value ) .....	20
2.8 Perpindahan Panas Pada Ketel Uap ( Boiler ).....	20
2.8.1 Perpindahan Panas Secara Pancaran atau Radiasi .....	21
2.8.2 Perpindahan Panas Secara Aliran Atau Konveksi .....	21
2.8.3 Perpindahan Panas Secara Perambatan Atau Konduksi.....	22
2.8 Siklus Rankine.....	23
2.9.1 Proses perubahan air yang bertekanan tinggi menjadi uap panas lanjut .....	26
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1. Metode Penelitian .....	28
3.2. Tempat Dan Waktu Penelitian.....	29
3.2.1 Tempat Penelitian.....	29
3.2.2. Waktu Penelitian .....	29
3.3. Alat dan Bahan. ....	29
3.3.1. Alat Ketel Uap ( Boiler ) .....	29
3.3.2. Panel Ketel Uap .....	31
3.3.3. Bahan Bakar Ampas Tebu.....	31
3.3.4. Bahan Bakar Kayu .....	32
3.4 Konsep Penelitian .....	33
<b>BAB V PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1 Nilai Kalor Bahan Bakar.....	35
4.1.1. Nilai Kalor Ampas Tebu.....	36
4.1.2. Nilai Kalor Kayu .....	37



4.1.3. Nilai Campuran Kayu Dan Ampas Tebu.....	38
4.2 Kebutuhan Bahan Bakar .....	39
4.3 Kebutuhan Udara Pembakaran.....	40
4.4 Kalor Pembakaran Pada Dapur Boiler.....	43
4.6 Pengolahan data.....	43
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>47</b>
6.1. Kesimpulan.....	47
6.2. Saran .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>49</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>BAB. II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>4</b>
Gambar 2.1 Mesin Uap Newcomen .....	4
Gambar 2.2 Ketel Pipa Api .....	8
Gambar 2.3 Ketel pipa Air .....	9
Gambar 2.4 Mesin Ketel Stasioner .....	10
Gambar 2.5 Mesin Ketel bergerak .....	10
Gambar 2.6 Ketel Pembakaran Dalam .....	11
Gambar 2.7 Ketel Pembakaran luar .....	11
Gambar 2.8 Steam Boiler Drum .....	13
Gambar 2.9 Cerobong Asap .....	14
Gambar 2.10 Pipa Watel Wall.....	14
Gambar 2.11 Diagram T-S.....	23
Gambar 2.12 Skema siklus rankine .....	24
Gambar 2.14 Diagram T-s untuk siklus Rankine sederhana .....	25
<b>BAB. III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>28</b>
Gambar 3.1 Ketel uap .....	30
Gambar 3.2 Panel Ketel uap .....	31
Gambar 3.3 Ampas Tebu .....	32
Gambar 3.4 Kayu .....	33
Gambar 3.9 Flow Chart Penelitian .....	34
<b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>	<b>35</b>
Gambar 4.1 Nilai HHV dan LHV .....	44
Gambar 4.2 Kebutuhan Bahan bakar .....	45





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pabrik Gula Kwala Madu atau sering disebut orang dengan istilah PGKM. Merupakan satu dari dua pabrik gula yang saat ini dimiliki oleh PTP Nusantara II ( PTPN II ) di Sumatra utara, Sejalan dengan semakin meningkatnya produksi Tebu dari tahun ke tahun. Maka akan terjadi pula peningkatan volume limbahnya, baik berupa limbah padat maupun limbah cair. Limbah padat tebu dapat berupa ampas tebu sedangkan limbah cairnya berupa tetes ( moleses ).

Dalam hal ini pabrik gula kwala madu dapat memproduksi gula sebanyak 15.742.000 ton gula dari 297.640,97 ton tebu yang di giling pada tahun 2019. Dalam proses pengolahan di pabrik gula kwala madu diperlukan energi listrik, oleh karena itu pabrik gula kwala madu menggunakan pembangkit tenaga listrik dengan sistem pembangkit tenaga uap. Selain digunakan untuk pembangkit listrik, tenaga uap juga digunakan untuk peroses pengolahan tebu menjadi gula.

Boiler merupakan pilihan menguntungkan untuk memenuhi tujuan ini, Untuk memenuhi kebutuhan energy maka dilakukan suatu perancangan boiler dengan efisiensi yang tinggi. Ruang bakar pada boiler memegang peranan yang sangat penting dalam melakukan pembakaran untuk menghasilkan energi panas yang digunakan untuk merebus air dalam pipa. Dengan kapasitas 60 ton uap/jam, Maka perlu dirancang ruang bakar boiler tersebut.

Pembakaran adalah sebuah reaksi antara oksigen dan bahan bakar yang menghasilkan panas (muin syamsir A,1998). Oksigen diambil dari udara yang berkomposisi 21% oksigen serta 79% nitrogen ( presentase volume ) atau 77%

oksigen serta 23% nitrogen ( presentase massa ). unsur terbanyak yang terkandung dalam bahan bakar adalah karbon, Hydrogen dan sedikit Sulfur (A.Muin, 2018)

Pembakaran sempurna adalah pembakar dengan proporsi yang sesuai antara bahan bakar dengan oksigen. pada pembakaran yang lebih banyak oksigen dari pada bahan bakar campuran tersebut dinamakan sebagai campuran kaya. begitu juga sebaliknya, apabila bahan bakar yang digunakan lebih banyak dari pada oksigen maka campurannya disebut campuran miskin (Djoko Setyardjo, 2018)

Berdasarkan hal tersebut maka penulis melakukan analisa tugas akhir ini. Adapun bahan bakar yang digunakan adalah ampas tebu dan kayu

## 1.2 Perumusan Masalah

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

1. Kadar campuran bahan bakar yang digunakan ketel uap ( boiler )
2. Berapa besar konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan.
3. Berapa besar jumlah udara pada proses pembakaran.
4. Bagaimana perhitungan aliran kalor pada dinding ruang bakar boiler

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Menganalisis konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan
2. Menganalisis kebutuhan udara pada proses pembakaran
3. Menganalisis aliran kalor pada dinding ruang bakar boiler

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian dari tugas akhir ini yang hendak dicapai adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan
2. Menganalisis kebutuhan udara pada proses pembakaran
3. Menganalisis aliran kalor pada dinding ruang bakar boiler

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

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

1. Menambah wawasan dan pengetahuan mahasiswa bagaimana cara kerja sistem boiler yang digunakan pada pabrik.
2. Mengoptimisasi bahan bakar terhadap ruang bakar agar mencapai efisiensi yang tinggi.
3. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi sumbangan pemikiran bagi ilmu pengetahuan serta dapat memberi informasi kepada masyarakat khususnya kepada industri yang bergerak di bidang boiler.

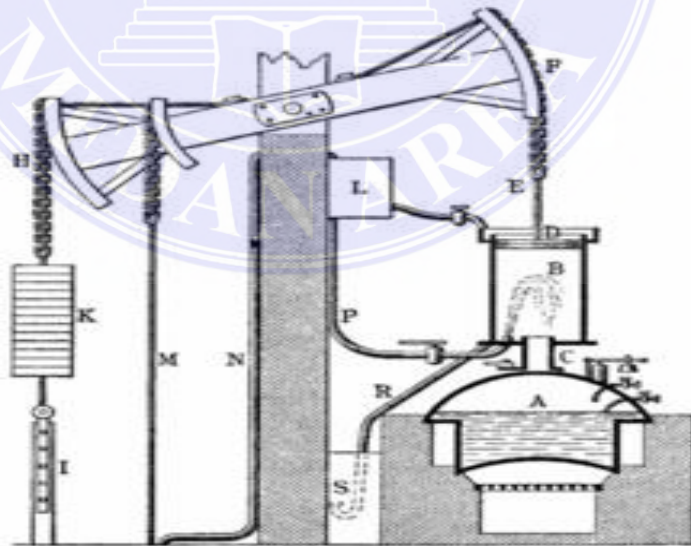


## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Sejarah Perkembangan Boiler

Thomas Newcomen ( 1663 – 1729 ) merupakan seorang pandai besi inggris yang menemukan mesin uap atmosfer, sebuah perbaikan terhadap desain Thomas Savery sebelumnya. Mesin uap Newcomen menggunakan kekuatan tekanan atmosfer untuk bekerja. Pada mesin Newcomen ini intensitas tekanan tidak dibatasi oleh tekanan uap, Tidak seperti apa yang dipatenkan Thomas Savery pada tahun 1698.

Pada tahun 1712, Thomas Newcomen bersama dengan John Calley membangun mesin pertama diatas sebuah lubang tambang yang tersisi air dimana mesin tersebut digunakan untuk memompa air keluar tambang. Mesin Newcomen ini merupakan pendahulu Mesin James Watt dan salah satu bagian teknologi yang paling menarik yang berkembang selama abad ke-17.



Gambar 2.1 Mesin Newcomen

Gambar mesin di atas tersebut menunjukkan posisi boiler berada tepat dibawah silinder. Uap pertama kali dialirkan dari boiler menuju ke silinder. Ketika piston mencapai puncak air disemprotkan ke dalam silinder untuk mendinginkan uap yang membentuk sebuah vakum. Piston terdorong turun oleh berat udara yang berada di atasnya ( 15 pond per inci<sup>2</sup> dari luas piston ). Siklus tersebut terjadi secara berulang-ulang.

## 2.2 Definisi Boiler ( ketel uap )

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

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai Tekanan, Temperatur dan laju aliran yang menentukan pemanfaat *steam* yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan temperature rendah ( *low pressure / LP* ) dan tekanan temperature tinggi ( *high pressure / HP* ), Dengan perbedaan itu pemanfaatan *steam* yang keluar dari system boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin ( *commercial and industrial boilers* ), Atau membangkitkan energi listrik dengan mengubah energi kalor menjadi energi

mekanik kemudian memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik ( power ).

Namun ada juga yang menggabungkan kedua sistem boiler tersebut yang memanfaatkan tekanan temperature tinggi untuk membangkitkan energi listrik, Kemudian sisa steam dari turbin dengan keadaan tekanan temperature rendah dapat dimanfaatkan ke dalam proses industri.

Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, Sistem steam dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan dari system air umpan, Penanganan air umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan untuk mencegah terjadinya kerusakan dari sistem steam. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler, Steam dialirkan melalui system pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem tekanan steam diatur menggunakan kran dan di pantau dengan alat pemantau tekanan. System bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan , Peralatan yang diperlukan pada system bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada system.

Instalasi tenaga uap sekurang-kurangnya terdiri dari pembangkit uap atau yang di kenal dengan ketel uap yang berfungsi sebagai sarana untuk mengubah air menjadi uap bertekanan. Ketel uap dalam bahasa inggris disebut dengan nama boiler berasal dari kata *BOIL* yang berarti mendidihkan atau menguapkan, Sehingga boiler dapat diartikan sebagai alat Pembentukan uap yang mampu

mengkonversi energi kimia dari bahan bakar padat ( padat, cair, gas ) yang menjadi energi panas (Muin, 2018)

Uap yang dihasilkan dari ketel uap merupakan gas yang timbul akibat perubahan fase cairan menjadi uap atau gas melalui cara pendidihan yang memerlukan sejumlah energy dalam pembentukannya. Zat cair yang dipanaskan akan mengakibatkan pergerakan molekul-molekul mejadi cepat, Sehingga melepas diri dari lingkungannya dan berubah menjadi uap. Air yang berdekatan dengan bidang pemanas akan memiliki temperature yang lebih tinggi ( berat jenis yang lebih rendah ) dibandingkan dengan air yang bertemperatur rendah, Sehingga air yang bertemperatur tinggi akan naik ke permukaan dan air yang bertemperatur rendah akan turun. Peristiwa ini akan terjadi secara terus menerus ( sirkulasi ) hingga berbentuk uap. Uap yang dihasilkan oleh ketel uap dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan.

Boiler merupakan peralatan yang berfungsi untuk memanaskan fluida dari keadaan cair hingga menjadi campuran maupun uap lanjut dengan menggunakan metode External Combustion ( pembakaran luar ). Boiler yang sering digunakan adalah steam boiler ( ketel uap ) yang sering digunakan dalam pembangkit.

## 2.3 Klasifikasi Ketel uap

Secara umum ketel uap dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa bagian yaitu berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, Pemakaian jumlah lorong, Letak bentuk dapur dan letak pipa (Muin, 2018)

### 2.3.1 Bedasarkan Fluida yang mengalir dalam pipa

Berdasarkan fluida kerja yang mengalir didalam dapur maka ketel dapat di klasifikasikan sebagai berikut :

## 1. Ketel Pipa Api ( Fire Tube Boiler )

Fire tube boiler merupakan jenis boiler yang cukup tua dimana gas panas hasil pembakaran dilewatkan pada tube ( pipa ), Sementara air berada dalam sisi Shell, Sehingga terjadi perpindahan panas yang mengakibatkan air berubah menjadi uap. Fire tube boiler merupakan boiler yang biaya penggunaannya relatif murah, Mudah dioperasikan dan memiliki efisiensi pembakaran yang bagus. Namun terbatas hanya untuk kapasitas yang rendah sekitar 2,5 ton/jam dengan tekanan 17,5 kg/cm<sup>2</sup>. Bahan yang digunakan dapat berupa gas, Bahan bakar padat. Contoh ketel pipa api : *ketel Scooth, Ketel cochan dan Corn wall*



Gambar 2.2 Ketel Pipa Api

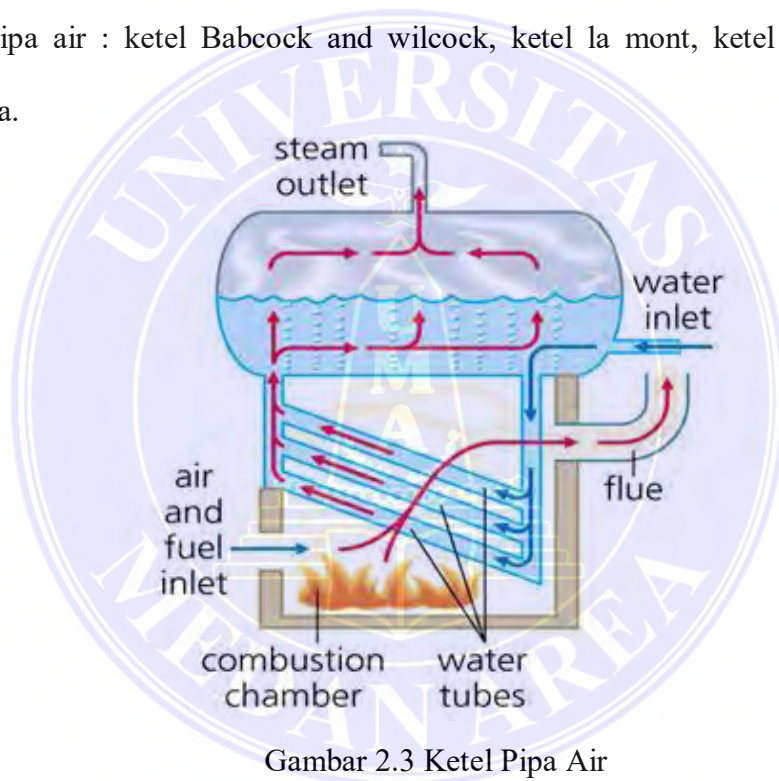
## 2. Ketel Pipa Air ( Water Tube Boiler )

Water tube boiler mempunyai proses berbanding terbalik dengan fire tube boiler dimana air yang dialirkan didalam tube, Sedangkan proses pembakaran berada diluar tube ( shell ). Boiler ini dapat berupa tipe tunggal atau ganda, Pada boiler ini tekanan yang terjadi pada uap relative tinggi sehingga sering



dimanfaatkan dalam pembangkit. Kapasitas uap dapat mencapai 4.500 – 12.000 kg/jam.

Untuk pembakaran menggunakan bahan bakar minyak bakar atau gas, Water tube boiler disediakan dalam bentuk paket namun untuk penggunaan boiler dengan bahan bakar padat secara umum belum tersedia dalam bentuk paket. Pada boiler jenis ini memungkinkan untuk efisiensi panas yang lebih tinggi namun kurang toleran terhadap kualitas feedwater hasil dari plant pengolahan air. Contoh ketel pipa air : ketel Babcock and wilcock, ketel la mont, ketel benson, ketel Takuma.



Gambar 2.3 Ketel Pipa Air

### 2.3.2 Berdasarkan Penggunaannya

Berdasarkan penggunaannya ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

#### 1. Ketel Stasioner ( Stationary Boiler )

Ketel stasioner adalah ketel yang berada pada pondasi yang tetap seperti untuk pembangkit tenaga, untuk industry dan lain-lain.



Gambar 2.4 Mesin Ketel Stasioner

## 2. Ketel Bergerak ( Mobile Boiler )

Ketel bergerak adalah ketel yang dipasang pada pondasi yang bergerak atau berpindah-pindah. Contoh ketel lokomotif

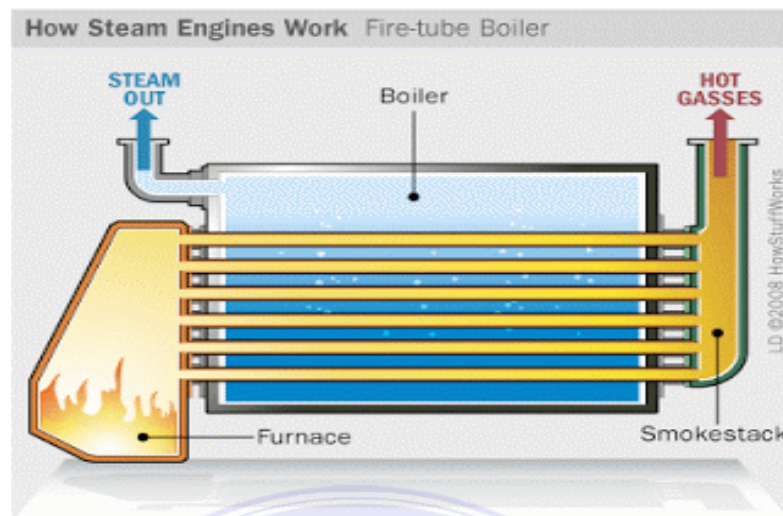


Gambar 2.5 Mesin Ketel Bergerak

### 2.3.3 Berdasarkan Letak Dapur ( furnace Position )

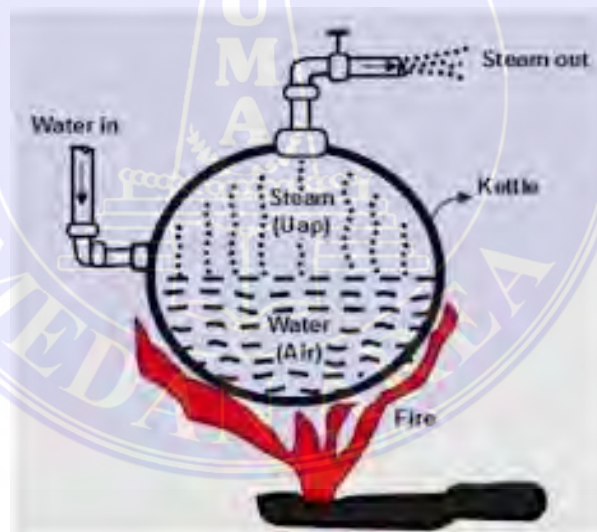
Berdasarkan letak dapur ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Ketel Dengan Pembakaran Dalam ( internal fired steam boiler ) ketel pada bagian jenis ini memiliki dapur dibagian dalam ketel.



Gambar 2.6 Ketel pembakaran di dalam

- b. Ketel Dengan Pembakaran Luar ( external fired steam boiler ) ketel jenis ini memiliki dapur pembakaran dibagian luar ketel.



Gambar 2.7 ketel pembakaran di luar

#### 2.3.4 Berdasarkan Jumlah Lorong

Berdasarkan jumlah lorong ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Ketel Lorong Tunggal ( single tubes steam boiler )
- b. Ketel Lorong Ganda ( multi tubes steam boiler )

### 2.3.5 Berdasarkan Jenis Bahan Bakar

Berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan maka ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a) Ketel uap dengan bahan bakar padat ( BatuBara, Cangkang, Serabut, Kayu, Ampas Tebu dan lain-lain )
- b) Ketel uap dengan bahan bakar gas ( Gas Alam, Gas Bumi dan lain-lain )
- c) Ketel uap dengan bahan bakar cair ( Minyak Bumi, Bensin dan Solar )
- d) Ketel uap bahan bakar nuklir ( Uranium )

## 2.4 Bagian-Bagian Ketel Uap ( Boiler )

### 2.4.1 Ruang bakar ( Furnace )

Ruang bakar berfungsi sebagai tempat pembakaran bahan bakar. Bahan bakar dan udara dimasukkan kedalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran. Dari pembakaran bahan bakar dihasilkan sejumlah panas. Dinding ruang bakar umumnya dilapisi dengan pipa-pipa yang berisi air ketel ( Waterwall ).

Air dalam pipa-pipa ini senantiasa bersikulasi untuk mendinginkan dinding pipa dan sekaligus berfungsi sebagai pipa penguap, Dari drum atas air turun melalui pipa *downcomer* dan pipa-pipa waterwall air naik kembali menuju drum atas. Semakin cepat laju peredaran air, Pendinginan dinding pipa bertambah baik dan kapasitas uap yang dihasilkan bertambah besar.

Kebersihan dinding pipa waterwall sangat mempengaruhi besarnya laju perpindahan panas, Pengotoran dinding pipa dapat terjadi pada permukaan luar akibat jelaga atau dapat terjadi pada permukaan dalam akibat kerak ketel. Kotoran



yang melekat pada dinding pipa waterwall akan memperkecil kapasitas uap yang dihasilkan ketel.

#### 2.4.2 Drum Ketel Uap (Steam Boiler Drum)

Drum atas berfungsi sebagai tempat penampung air dan uap, Dalam drum terjadi pemisahan antara air dan gelembung-gelembung uap. Gelembung uap akan pecah dan menimbulkan percikan bintik-bintik air. Akibat perbedaan massa jenis, Uap akan naik kebagian atas drum, Sedangkan air akan turun ke drum bawah.



Gambar 2.8 Steam Boiler Drum

#### 2.4.3 Pembuangan Gas / Cerobong Asap

Cerobong asap berfungsi untuk membuang gas asap yang tidak terpakai lagi keudara bebas, untuk mengurangi polusi disekitar instali ketel. Sehingga proses pembakaran dapat berlangsung dengan baik, Dengan cerobong asap pengeluaran gas asap dapat lebih sempurna.

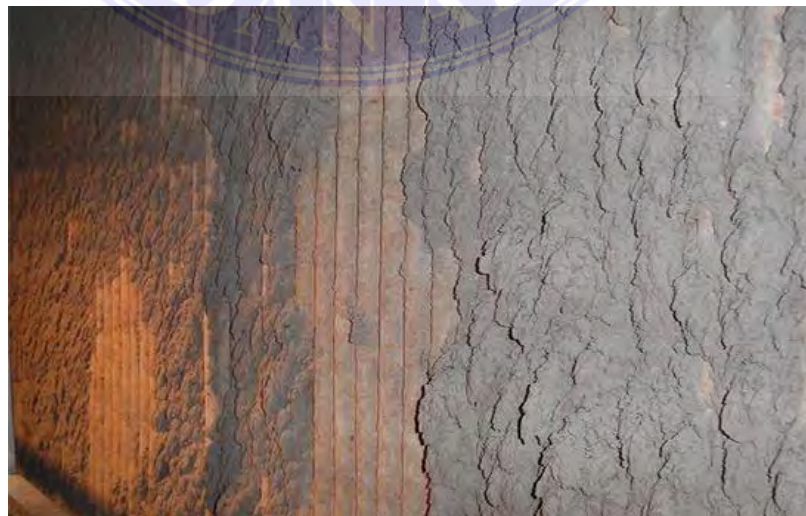




Gambar 2.9 Cerobong Asap

#### 2.4.4 Pipa Waterwall

Pada ruang bakar boiler komponen paling penting adalah pipa waterwall, Dimana panas yang dihasilkan pada pembakaran bahan bakar diserap pipa waterwall. Sehingga air yang terdapat pada pipa waterwall mengalami kenaikan temperatur sampai berubah menjadi uap.



Gambar 2.10 Pipa Waterall

#### 2.4.5 Pipa Backpass

Pipa backpass adalah Suatu komponen boiler yang berfungsi untuk mengalirkan uap jenuh dari drum bawah ke drum atas Akibat adanya perbedaan temperatur. Pipa backpass juga berfungsi untuk mentransfer panas, Pipa ini diletakan diantara drum atas dan drum bawah.

#### 2.4.6 Header

Header merupakan suatu media penampung air dan uap yang disirkulasikan ke pipa-pipa waterwall. Header pada boiler terdiri dari 4 ( empat ) bagian yaitu :

- a. Header depan ( Front Header )
- b. Header Belakang ( Rear Header )
- c. Header Samping Kiri ( Division Wall Side Header )
- d. Header Samping Kanan ( Furnace Side Header )

### 2.5 Sistem Reaksi Pembakaran

Pembakaran adalah sebuah reaksi antara oksigen dan bahan bakar yang menghasilkan panas. Oksigen diambil dari udara yang berkomposisi 21 % oksigen serta 79 % nitrogen ( presentase volume ), Atau 77 % oksigen serta 23 % nitrogen ( presentase massa ). Unsur terbanyak yang terkandung dalam bahan bakar adalah karbon, hydrogen dan sedikit sulfur. Pembakaran terdiri dari tiga proses yaitu :

- a.  $C + O_2 \longrightarrow CO_2 + KALOR$
- b.  $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow H_2O + KALOR$
- c.  $S + O_2 \longrightarrow SO_2 + KALOR$

Tiga senyawa dan panas yang dihasilkan tersebut disebut juga sebagai hasil pembakaran.

Pembakaran sempurna adalah pembakaran dengan proporsi yang sesuai antara bahan bakar dengan oksigen. Pada pembakaran yang lebih banyak oksigen dari pada bahan bakar maka campurannya disebut campuran kaya, Begitu juga sebaliknya apabila bahan bakar yang digunakan lebih banyak dari oksigen maka campurannya disebut campuran miskin. Reaksi untuk pembakaran sempurna adalah :

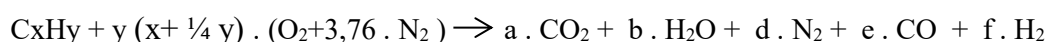


Nilai dari x dan y atas bergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan. Nilai x adalah fraksi massa untuk kandungan carbon dan y adalah fraksi massa untuk kandungan hydrogen dalam bahan bakar. Namun, Kandungan dari udara bebas sepenuhnya bukan mengandung oksigen karena bercampur dengan Nitrogen ( N<sub>2</sub> ). Sehingga reaksi *stoikiometrinya* juga sedikit berbeda dari dasar reaksi pembakaran sempurna.



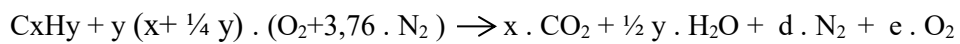
Namun, Ada kalanya juga proses pembakaran tidak terjadi pada komposisi ideal antara bahan bakar dengan udara. Seperti sudah dijelaskan sebelumnya, Proses yang tidak pada kondisi ideal ini biasa terbagi menjadi dua yaitu pembakaran kaya dan pembakaran miskin.

- Proses Pembakaran Kaya



Dari reaksi diatas dapat dilihat bahwa proses pembakaran kaya menghasilkan senyawa lain yaitu karbon monoksida ( CO ) dan hydrogen ( H<sub>2</sub> ). Untuk pembakaran kaya, Memiliki satu kriteria yaitu nilai  $Y > 1$ .

- Proses Pembakaran Miskin



Gas yang dihasilkan dari pembakaran kaya berbeda dari gas yang dihasilkan dari pembakaran miskin. Pada pembakaran miskin hanya menghasilkan gas oksigen ( O<sub>2</sub> ), Untuk pembakaran miskin juga memiliki satu kriteria yaitu  $Y < 1$ .

### 2.5.1 Hal-hal yang harus diperhatikan dalam proses pembakaran

Sebelumnya telah dibahas reaksi kimia pembakaran secara teoritis. Namun pada kenyataannya proses pembakaran ini akan menghasilkan gas-gas atau sisa-sisa hasil pembakaran lainnya yang tidak disebutkan pada reaksi tersebut. Untuk memperoleh hasil pembakaran yang baik, Maka proses pembakaran harus memperhatikan parameter-parameter seperti *mixing* ( pencampuran ) udara, Temperatur dan kerapatan. Berikut ini merupakan hal-hal yang harus diperhatikan dalam proses pembakaran yaitu :

a. Mixing ( pencampuran )

Agar pembakaran dapat berlangsung dengan baik, Maka diperlukan proses pencampuran antara bahan bakar yang digunakan dengan udara pembakaran. Pencampuran yang baik dapat mengkondisikan proses pembakaran berlangsung dengan sempurna

b. Udara

Dalam proses pembakaran Udara pembakaran harus diperhatikan, Karena dapat menentukan apakah pembakaran tersebut berlangsung dengan sempurna



atau tidak sempurna. Pemberian udara yang cukup dapat mencegah pembakaran yang tidak sempurna, Sehingga CO dapat bereaksi lagi dengan O<sub>2</sub> untuk membentuk CO<sub>2</sub>.

c. Temperatur

Bila temperatur tidak mencapai atau tidak bias dipertahankan pada temperatur nyala dari bahan bakar maka pembakaran tidak akan berlangsung atau terhenti.

d. Waktu

Sebelum terbakar, Bahan bakar akan mengeluarkan *volatile meter* ( Zat terbang ) agar dapat terbakar. Waktu pada saat bahan bakar melepas *volatile meter* itulah yang dinamakan sebagai waktu pembakaran atau *time delay*.

## 2.6 Bahan Bakar Boiler

Bahan bakar yang digunakan didalam boiler pada umumnya diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Bahan Bakar Padat
2. Bahan Bakar cair
3. Bahan Bakar Gas

### 2.6.1 Bahan Bakar Padat

Bahan bakar padat yang terdapat di bumi kita berasal dari zat-zat organik. Bahan bakar padat mengandung unsur-unsur antara lain : zat arang atau karbon ( C ), Hidrogen ( H ), Zat asam atau Oksigen ( O ), Nitrogen ( N ), Belerang ( S ), Abu dan air yang semua itu terikat dalam suatu persenyawaan kimia .



## 2.6.2 Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair berasal dari minyak bumi. Minyak bumi didapat dari dalam tanah dengan cara mengebor di ladang-ladang minyak dan memompanya ke atas permukaan bumi, untuk selanjutnya diolah lebih lanjut menjadi berbagai jenis minyak bakar. Minyak bumi yang berwarna coklat tua sampai kehitam-hitaman, terdiri dari campuran persenyawaan zat cair arang ( C dan H ) yang terbagi sebagai berikut :

1. Bersifat Parafinis ( Paraffinic Base ) yaitu persenyawaan zat cair arang yang membentuk rantai yang panjang sering disebut sebagai *persenyawaan alifatis*, yang terdiri dari *Alkana*.
2. Bersifat Naphthenis ( Naphthenic Base ) yaitu persenyawaan zat cair arang yang berbentuk *Siklis* (  $C_n H_{2n+6}$  ) atau *Aromat* (  $Cyclan C_n H_{2n}$  ).

## 2.6.3 Bahan Bakar Gas

Bahan bakar gas di golongan dalam 2 golongan yaitu :

### a. Gas Alam

Bahan bakar ini sering ditemukan pada pengeboran minyak tanah diantaranya gas metana (  $CH_4$  ) bersama dengan gas etana (  $C_2H_6$  ), Karbon monoksida (  $CO$  ), Liquid natural gas ( LNG ), Liquid petroleum gas ( LPG ).

### b. Gas Buatan

Gas buatan diklasifikasikan antara lain yaitu : Coal gasification ( Coal Gas ), Produser gas, Water gas, Mond Gas, Gas dapur tinggi, Coke oven gas.

## 2.7 Nilai Kalor ( Heating Value )

Nilai kalor merupakan energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Nilai kalor pada bahan bakar dapat dibagi menjadi 2 ( dua ) yaitu:

### 1. Nilai kalor bahan bakar tertinggi ( HHV )

Nilai kalor bahan bakar tertinggi atau High Heating Value ( HHV ), Uap air yang terbentuk dari hasil pembakaran dicairkan terlebih dahulu sehingga panas pengembunannya turut dihitung sebagai panas pembakaran yang terbentuk **(Djoko Setyardjo, 2018)**

Besarnya nilai kalor bahan bakar tertinggi HHV adalah :

$$HHV = (8080 \times C) + (34460 \times (H_2 - O_2 / 8)) + (2220 \times S)$$

### 2. Nilai Kalor Bahan Bakar Terendah ( LHV )

Nilai kalor bahan bakar terendah atau Lowest Heating Value ( LHV ). Uap air yang terbentuk dari hasil pembakaran tidak perlu dicairkan terlebih dahulu, sehingga panas pengembunannya tidak ikut serta dihitung dengan panas pembakaran bahan bakar tersebut **(Djoko Setyardjo, 2018)**

Besarnya nilai kalor bahan bakar terendah atau LHV adalah :

$$LHV = HHV - ((9 \times H_2) \times 586)$$

## 2.8 Perpindahan Panas Pada Ketel Uap ( Boiler )

Panas yang dihasilkan karena pembakaran bahan bakar dan udara, yang berupa api yang menyala dan gas asap yang tidak menyala dipindahkan kepada air ataupun udara. Melalui bidang yang dipanaskan atau Heating surface, Pada suatu instalasi ketel uap dengan 3 ( tiga ) cara yaitu :

1. Dengan cara pancaran atau Radiasi
2. Dengan cara aliran atau Konveksi
3. Dengan cara perambatan atau Konduksi

### 2.8.1 Perpindahan Panas Secara Pancaran atau Radiasi

Pemindahan panas secara pancaran atau Radiasi adalah perpindahan panas antara suatu benda dengan benda yang lain dengan jalan melalui gelombang-gelombang elektromagnetik tanpa tergantung pada ada atau tidak media zat diantara media yang menerima pancara tersebut. Adapun banyaknya panas yang diterima secara pancaran atau  $Q_p$  berdasarkan rumus dari Stephan – Boltzman Adalah :

$$Q_{rad} = \sigma \times \epsilon \cdot A_{rad} [(T_g^4 \times \epsilon_g) - (T_w^4 \times \epsilon_w)] \text{ kJ / s}$$

Dimana :

- $Q_{rad}$  = Energi Radiasi ( kJ / s atau Watt )
- $\sigma$  = Konstanta Stefan-Boltzman (  $5.669 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2\text{K}^4$  )
- $T_w$  = Temperatur dinding pipa water wall
- $\epsilon_g$  = Emisivitas nyala ( 0,65 - 0,70 )
- $\epsilon_w$  = Emisivitas Radiasi ( 0,9 )

### 2.8.2 Perpindahan Panas Secara Aliran Atau Konveksi

Perpindahan panas secara aliran atau konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida. Molekul-molekul fluida tersebutmelayang-layang secara bolak-balik membawa sejumlah panas masing-masing  $q$  joule. Pada saat molekul fluida tersebut menyentuh dinding ketel maka panasnya dibagikan sebagian yaitu :

$q_1$  joule kepada dinding ketel, selebihnya yaitu  $q_2 = q - q_1$  joule di bawanya pergi.

Bila gerakan yang di bawa oleh molekul-molekul tersebut adalah akibat dari kekuatan mekanis ( karena dipompa atau dihembus dengan fan ) maka perpindahan panas tersebut konveksi paksa ( forced convection ). Dalam gerakannya molekul-molekul api tersebut tidak perlu melalui lintasan yang lurus untuk mencapai dinding ketel atau bidang yang dipanasi.

Jumlah panas yang diserahkan secara konveksi (  $Q_k$  ) adalah :

$$Q_k = h_c \times A_{konv} ( T_g - T_w )$$

Dimana :

- $h_c$  = Koefisien Konveksi (  $W/m^2.K$  )
- $k_f$  = Konduktivitas termal fluida (  $W/m.K$  )
- $\delta_t$  = Tebal pipa ( m )
- $A_{konv}$  = Luas bidang yang dipanasi (  $m^2$  )

### 2.8.3 Perpindahan Panas Secara Perambatan Atau Konduksi

Perpindahan panas secara perambatan atau konduksi adalah perpindahan panas dari suatu bagian benda padat ke bagian lain dari benda padat yang sama karena terjadinya persinggungan fisik tanpa terjadinya perpindahan molleku-molekul dari benda padat itu sendiri didalam dinding tersebut. Panas akan dirambatkan oleh molekul-molekul dinding ketel sebelah dalam yang berbatasan dengan air, uap ataupun udara. Jumlah panas yang dirambatkan  $Q_{kond}$  melalui dinding ketel adalah :

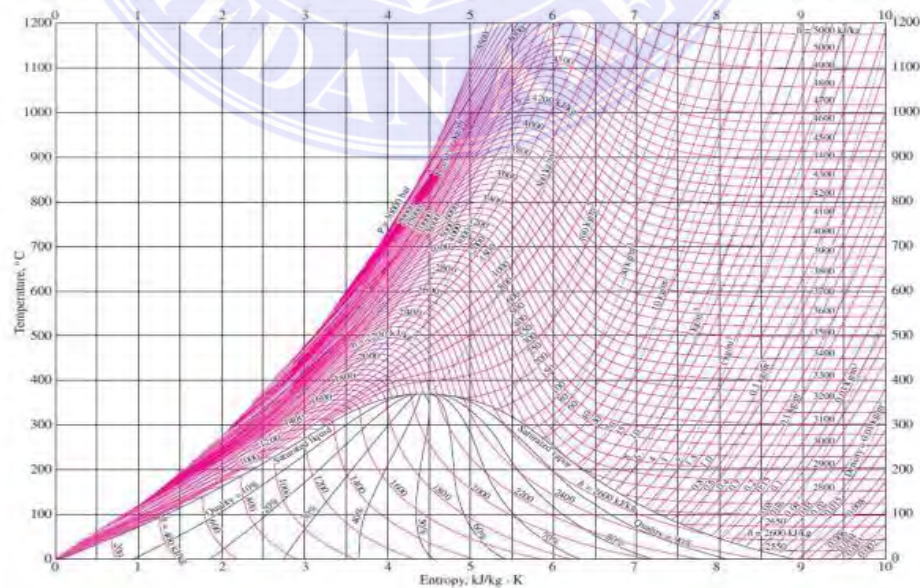
$$Q_{\text{kond}} = (-k) \times A \times \frac{\delta t}{\delta x}$$

Dimana :

- K = Koefisien konduksi bahan ( W/m.K )
- A = Luas permukaan yang di panasi ( m<sup>2</sup> )
- $\frac{\delta t}{\delta x}$  = Gradien temperature ( K/m )

## 2.9 Siklus rankine

Siklus Rankine adalah siklus daya uap yang digunakan untuk menghitung proses kerja mesin uap / turbin uap, Siklus ini bekerja dengan fluida kerja air. Semua PLTU (pembangkit listrik tenaga uap) bekerja berdasarkan prinsip kerja siklus Rankine, Siklus Rankine pertama kali dimodelkan oleh William John Macquorn Rankine, seorang ilmuwan Scotlandia dari Universitas Glasgow. (djukarna, 2015) Untuk mempelajari siklus Rankine, terlebih dahulu kita harus memahami tentang diagram T-s untuk air. Berikut ini adalah T-s diagram untuk air.



Gambar 2.11 diagram T-s



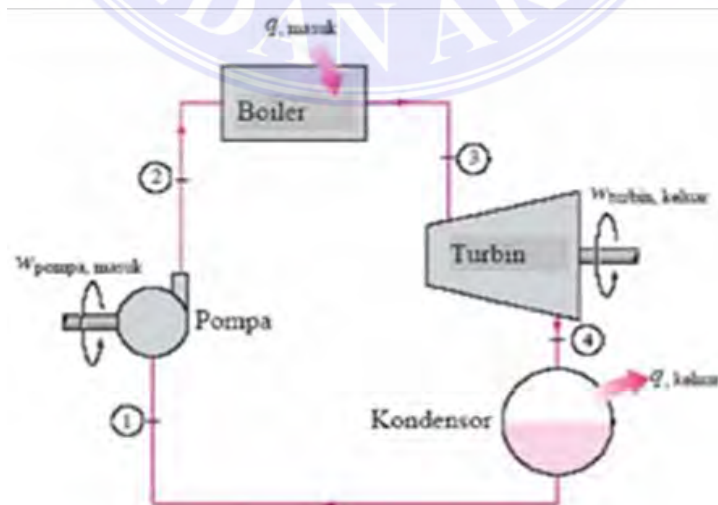
Diagram T-s adalah diagram yang menggambarkan hubungan antara temperatur (T) dengan entropi (s) fluida pada kondisi tekanan, entalpi, fase dan massa jenis tertentu. Jadi pada diagram T-s terdapat besaran-besaran tekanan, massa jenis, temperatur, entropi, entalpi dan fase fluida.

Sumbu vertikal T-s diagram menyatakan skala temperatur dan sumbu horizontal menyatakan entropi. Terdapat 2 sistem satuan untuk T-s diagram yaitu sistem satuan internasional seperti pada gambar 1 dan sistem satuan Inggris. Menggunakan diagram ini perlu diperhatikan sistem satuan yang digunakan. Selain itu masing-masing jenis fluida mempunyai diagram T-s nya sendiri-sendiri dan berbeda satu dengan lainnya.

Siklus Rankine terdiri dari :

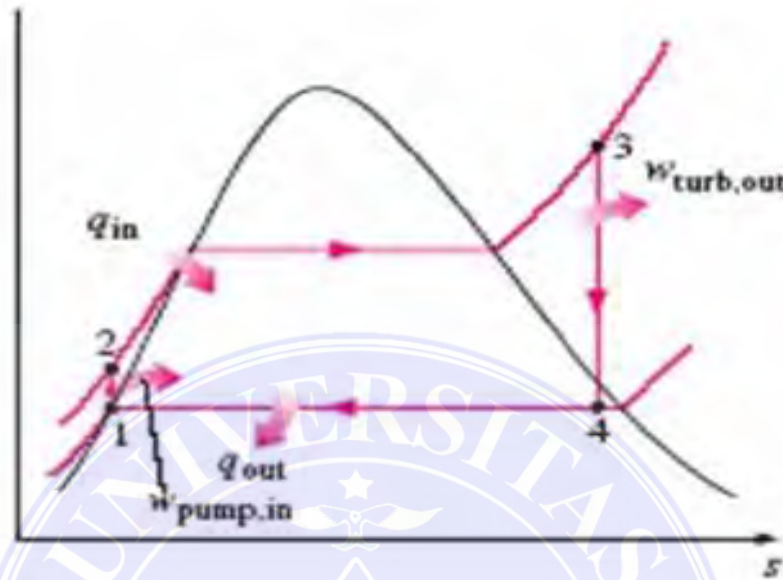
1. Pompa boiler sebagai alat memompa air ke boiler
2. Boiler sebagai alat pembangkit uap
3. Turbin uap sebagai alat mengubah uap menjadi kerja
4. Kondensor sebagai alat pengembun uap

Skema siklus Rankine dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.12 skema siklus rankine

Skema pada gambar 2.13 dapat digambarkan garis kerjanya pada diagram T-s seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 2.14 Diagram T-s untuk siklus Rankine sederhana

Keterangan gambar 2.14:

- Proses 1 – 2 adalah Proses pemompaan isentropic pada pompa
- Proses 2 – 3 adalah Proses pemasukan kalor atau pemanasan pada tekanan konstan dalam ketel uap
- Proses 3 – 4 adalah proses ekspansi isentropic didalam turbin
- Proses 4 – 1 adalah proses pengeluaran kalor pada tekanan konstan

Pada siklus Rankine sederhana Air dipompakan ke dalam boiler. Pompa yang bertugas untuk memompakan air ke dalam boiler disebut *feed water pump*. Pompa ini harus dapat menekan air ke boiler dengan tekanan yang cukup tinggi (sesuai dengan tekanan kerja siklus). Secara ideal pompa bekerja menurut proses isentropis ( *adiabatis reversibel* ) dan secara aktual pompa bekerja menurut proses *adiabatis irreversibel*. (djukarna, 2015)

2.9.1 Proses perubahan air yang bertekanan tinggi menjadi uap panas lanjut adalah sebagai berikut:

a Ekonomiser, air pertama-tama masuk ke ekonomiser. Ekonomiser berfungsi sebagai pemanas awal. Sesuai namanya alat ini berfungsi untuk meningkatkan efisiensi boiler dengan cara menggunakan panas sisa gas buang untuk memanaskan awal air yang masuk ke boiler.

b Evaporator, dari ekonomiser, air masuk ke drum penampung air di evaporator. Di dalam evaporator air dipanaskan melalui pipa-pipa evaporasi hingga berubah menjadi uap. Uap air yang keluar dari evaporator adalah uap jenuh.

c Superheater, selanjutnya uap jenuh dari evaporator masuk ke superheater. Superheater adalah alat penukar kalor yang dirancang khusus untuk memanaskan uap jenuh menjadi uap panas lanjut dengan menggunakan gas panas hasil pembakaran. Uap panas lanjut yang keluar dari superheater siap digunakan untuk memutar turbin uap.

Uap panas lanjut dari boiler kemudian dialirkan ke turbin uap melalui pipa – pipa uap. Di dalam turbin uap , uap panas lanjut diekspansikan dan digunakan untuk memutar rotor turbin uap. Proses ekspansi di dalam turbin uap berlangsung melalui beberapa tahap yaitu :

1. Proses ekspansi awal di dalam turbin tekanan tinggi (roda Curtis)

Uap panas lanjut yang bertekanan tinggi diekspansikan di nosel dan kemudian digunakan untuk memutar roda Curtis. Roda Curtis adalah turbin uap jenis turbin implus. Pada roda Curtis terjadi penurunan tekanan yang signifikan.

2. Proses ekspansi pada turbin tingkat menengah.

Turbin tingkat menengah menggunakan turbin jenis reaksi dan tersusun atas beberapa tingkat turbin.

3. Proses ekspansi tingkat akhir.

Pada tingkat akhir ini uap terus diekspansikan hingga tekanan sangat rendah (biasanya dibawah tekanan atmosfer ) dengan bantuan kondensor.

Putaran poros yang dihasilkan dari proses ekspansi uap panas lanjut di dalam turbin digunakan untuk memutar beban. Beban dapat berupa generator listrik seperti di PLTU atau propeler (baling-baling) untuk menggerakkan kapal.

Uap tekanan rendah dari turbin uap mengalir ke kondensor. Di dalam kondensor, uap didinginkan dengan media pendingin air hingga berubah fase menjadi air.

Kemudian air ditampung di dalam tangki dan dipisahkan dari gas-gas yang tersisa dan siap untuk dipompa ke dalam boiler oleh pompa pengisi boiler. Proses ini terus berlanjut dan berulang membentuk sebuah siklus yang disebut siklus Rankine.



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Metode Penelitian**

Adapun metode yang digunakan dalam melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tahap Studi Literatur

Tahap studi literatur meliputi referensi baik dari buku, makalah, dan dari literatur lainnya sebagai penunjang teori yang selanjutnya digunakan sebagai acuan pada penelitian yang akan dilakukan.

2. Tahap Pelaksanaan Pengujian

Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada literatur dan sesuai dengan buku pedoman pengoperasian alat uji.

3. Pengambilan Data

Tahap ini adalah tahap yang terpenting, yaitu melakukan pengamatan dari pengujian dan kemudian mencatat data hasil pengamatan tersebut.

4. Tahap Analisa dan Pembahasan

Hasil dari pengujian diatas kemudian dianalisa kembali dan dibahas sesuai dengan literatur yang sudah ada.

5. Tahap Kesimpulan

Dalam mengambil kesimpulan, diperlukan ketelitian dan pertimbangan yang seksama. Karena ini merupakan hasil terakhir yang diperoleh dari sebuah penelitian.

## 3.2 Tempat Dan Waktu Penelitian

### 3.2.1 Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan dan pengambilan data dilakukan di Pabrik Gula Kwala Madu.

### 3.2.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dimulai dari persetujuan judul skripsi yang diberikan oleh ketua program studi. Pengambilan data, Pengolahan data, Hingga penyusunan skripsi dinyatakan selesai.

## 3.3 Alat dan Bahan

### 3.3.1 Alat Ketel Uap ( Boiler )

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam*, Air panas atau steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. jika air dididihkan sampai menjadi steam volumenya akan meningkat sekitar 1600 kali, Menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

Sistem boiler terdiri dari : Sistem air umpan, Sistem Steam dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler, Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada

keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan dalam sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

Air yang disuplai ke boiler untuk dirubah menjadi steam disebut air umpan.

Ada 2 ( dua ) sumber air umpan yaitu :

1. Kondensat ( air pengembunan )
2. Air make up ( air baku yang sudah diolah )

Untuk mendapatkan efisiensi boiler yang lebih tinggi, Maka digunakan economizer untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang.



Gambar 3.1 Ketel uap

### 3.3.2 Panel ketel Uap

Panel digunakan untuk memantau aktifitas yang dilakukan oleh ketel uap. Seperti tekanan kerja, Kapasitas air ketel uap, dan sebagainya. Gambar panel ketel uap ditunjukan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 panel Ketel uap

### 3.3.3 Bahan Bakar Ampas Tebu

Bahan dasar dalam penelitian ini adalah ampas tebu (*Saccharum officinarum*) merupakan tanaman yang ditanam untuk bahan baku gula. Tanaman ini hanya dapat tumbuh di daerah beriklim tropis, Tanaman ini termasuk jenis rumput-rumputan. Umur tanaman sejak ditanam sampai bisa dipanen mencapai kurang lebih 1 tahun, Di Indonesia tebu banyak dibudidayakan di pulau Jawa dan Sumatra.

Ampas tebu atau lazimnya disebut *bagasse*, adalah hasil samping dari proses ekstraksi ( pemerahan ) cairan tebu. Dari satu pabrik dihasilkan ampas tebu sekitar 35 – 40% dari berat tebu yang digiling, Ampas merupakan hasil samping dari proses ekstraksi tebu dengan komposisi : 46-52% air, 43-52% sabut



dan 2 - 6% padatan terlarut. Ampas tebu sebagian besar mengandung *ligno-cellulose*. Panjang seratnya antara 1,7 sampai 2 mm dengan diameter sekitar 20 mikro, Sehingga ampas tebu ini dapat memenuhi persyaratan untuk diolah menjadi papan-papan buatan. Bagase mengandung air 48 - 52%, Gula rata-rata 3,3% dan serat rata-rata 47,7%. Serat bagase tidak dapat larut dalam air dan sebagian besar terdiri dari selulosa, Pentosan dan lignin.



Gambar 3.3 Ampas Tebu

#### 3.3.4 Kayu

Kayu merupakan limbah padat yang cocok digunakan karena mempunyai nilai kalor pembakaran yang cukup bagus, Kayu ini berfungsi untuk pemanasan awal boiler karena bara api dari kayu cukup lama habis jadi menghemat bahan bakar ampas tebu.



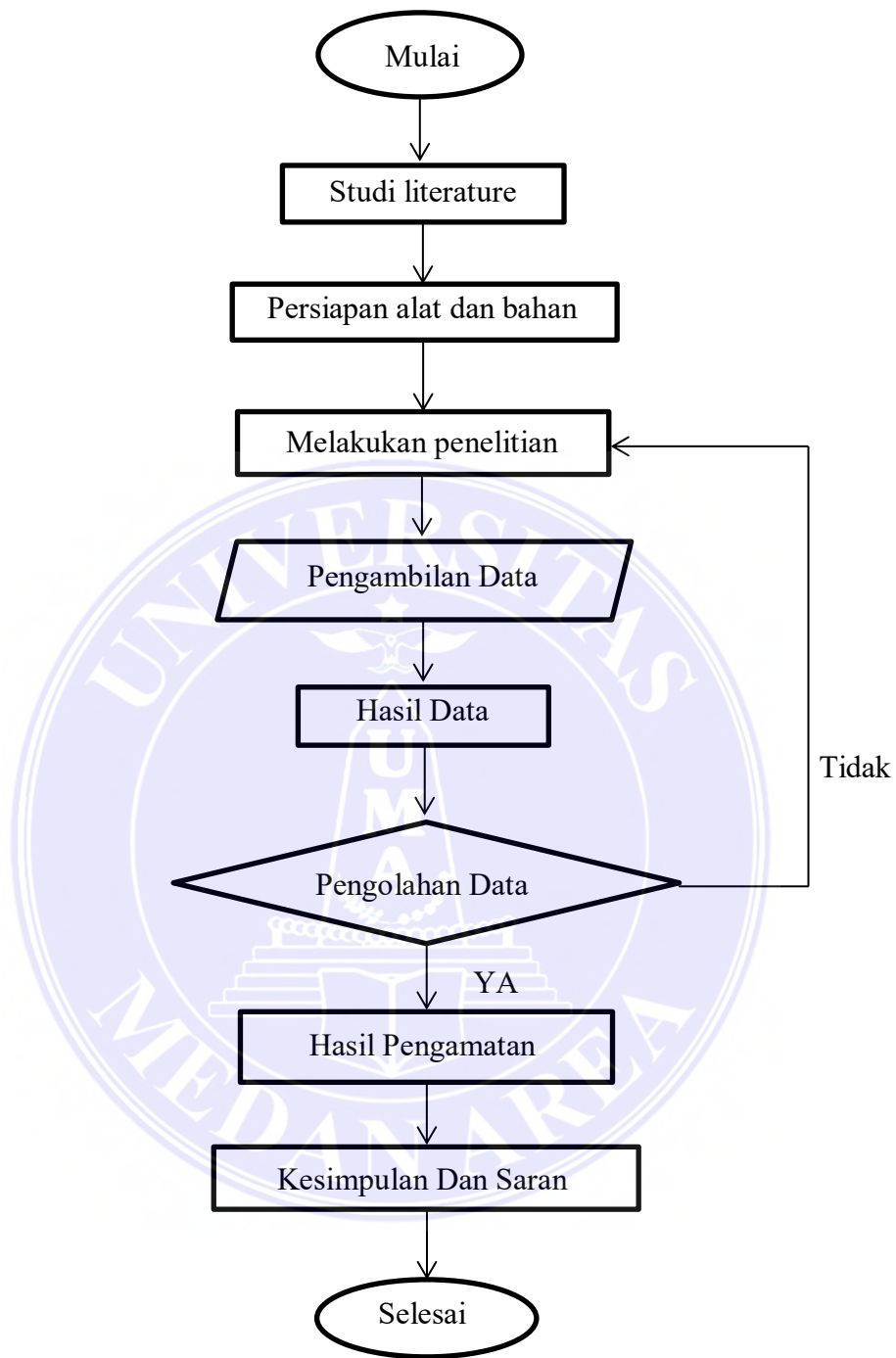
Gambar 3.4 Kayu

Tabel 3.1. komposisi kimia Ampas Tebu Dan Kayu

Bahan Bakar	Analisa Ultimate					
	Karbon ( C )	Hidrogen ( H <sub>2</sub> )	Oksigen ( O <sub>2</sub> )	Nitrogen ( N )	Sulfur ( S )	Abu ( A )
Ampas Tebu	23,70%	3%	22,80%	49%	0%	1,50%
Kayu	48,50%	6%	43,50%	0,50%	0%	1,50%

### 3.4 Konsep Penelitian

Untuk mempermudah penulisan skripsi ini, penulis membuat konsep penganalisaan pemakaian bahan bakar pada ketel uap yang digunakan. Konsep tersebut dapat dilihat dalam bentuk Flow Chart pada gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.9 Flow Chart Penelitian

## DAFTAR PUSTAKA

- adhari.siregar, M. (2017). analisa pembakaran pada ruang bakar boiler untuk kebutuhan 30 ton/jam tekanan 20 bar bahan bakar cangkang dan fiber. In M. adhari.siregar, *analisa pembakaran pada ruang bakar boiler untuk kebutuhan 30 ton/jam tekanan 20 bar bahan bakar cangkang dan fiber* (pp. 31-36). medan: universitas medan area.
- Ashoba, M. H. (2018). *ANALISA PEMAKAIAN BAHAN BAKAR MENGGUNAKAN FIBER DAN CANGKANG KELAPA SAWIT PADA KETEL UAP KAPASITAS 35 TON UAP/JAM*. MEDAN: UNIVERSITAS MEDAN AREA.
- DJOKOSETYARDJO, I. M. (1932). *KETEL UAP*. Jakarta: Pradnya paramita, 2018.
- DJUKARNA. (2015, februari 3). *SIKLUS RANKINE*. Retrieved from wordpress: <https://djukarna.wordpress.com>
- E.Jasijfi, J. d. (2017). *PERPINDAHAN KALOR*. JAKARTA: ERLANGGA.
- Hafidz, A. M. (2018). *ANALISA PEMAKAIAN BAHAN BAKAR MENGGUNAKAN FIBER DAN CANGKANG KELAPA SAWIT PADA KETEL UAP KAPASITAS 35 TON UAP/JAM*. MEDAN: UNIVERITAS MEDAN AREA. 2018.
- J.P.HOLMAN. (1986). *HEAT TRANSFER, Sixth Edition*. Mc Graw-Hill: Erlangga.
- MUIN, S. A. (2018). pesawat-pesawat konversi energi ( 1 ). In S. A. MUIN, *pesawat-pesawat konversi energi ( 1 )*. Jakarta: Rajawali.
- NUR, H. A. (2017). *ANALISA EFISIENSI WATER TUBE BOILER BERBAHAN BAKAR BAGASEE DAN SEKAM DI PABRIK GULA DENGAN KAPASITAS 45 TON/JAM*. KEDIRI: UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI KEDIRI.
- William C. Reynold, H. C., & Harahap, F. (1994). *TERMODINAMIKA TEKNIK*. JAKARTA: ERLANGGA.
- William C.Reynold, H. C., & Harahap, F. (1994). *TERMODINAMIKA TEKNIK*. JAKARTA: ERLANGGA.
- yunus A. Cengel, M. A. (1989). *THERMODYNAMIC*. New york: McGraw-Hill.