

# **TUGAS AKHIR**

## **ANALISIS EFESIENSI BAHAN BAKAR KETEL UAP BERKAPASITAS 13 TON / JAM DI PT.PACIFIC PALMINDO INDUSTRI**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelara Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**IKHSAN MAULANA**  
**1507230267**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ikhsan Maulana  
NPM : 1507230267  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisis Efisiensi Bahan Bakar Ketel Uap Berkapasitas 13  
Ton/Jam Di PT.Pacific Palmindo Industri  
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 September 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



H. Muahrnif S.T., M.Sc

Dosen Penguji II



M. Yani S.T., M.T

Dosen Penguji III

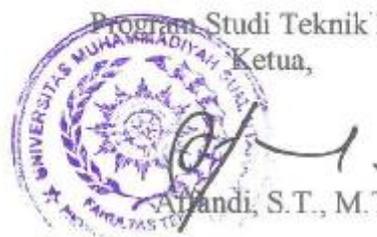


Chandra A Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji IV



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin  
Ketua,  
  
Alhadi, S.T., M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ikhsan Maulana  
Tempat /Tanggal Lahir : Medan, 05 Agustus 1994  
NPM : 1507230267  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“Analisis Efisiensi Bahan Bakar Ketel Uap Berkapasitas 13 Ton/Jam Di PACIFIC PALMINDO INDUSTRI ”,**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 September 2019

Saya yang menyatakan,  
  
Ikhsan Maulana



## ABSTRAK

Kebutuhan energi uap di Industri minyak sangat di perlukan untuk proses produksi dan kualitas produk yang dihasilkan ketel uap. Karena Ketel uap merupakan suatu pesawat tenaga yang banyak digunakan dan dianggap layak dalam dunia industri minyak di negara indonesia. Dalam mempelajari Ketel uap, tidak cukup juga hanya bisa mengoperasikan dan mengetahui fungsi unit-unit pendukung pengoperasian Ketel Uap tetapi setidaknya bisa menghitung efesiensi ketel uap apakah menguntungkan atau tidak jika dioperasikan. Pada proses produksi uap sangat di pengaruhi efisiensi dan jumlah pemakaian bahan bakar, hal tersebut merupakan pertimbangan yang harus di perhitungkan sesuai dengan kapasitas Industri. Pada umum nya boiler pipa air menggunakan bahan bakar Cangkang sawit dan MFO, oleh sebab itu kebutuhan pemakaian bahan bakar cangkang sawit maupun MFO perlu di analisa untuk mengetahui jenis bahan bakar yang bisa meningkatkan efisiensi Ketel uap. Peningkatan efisiensi ketel uap dapat memberikan nilai ekonomis untuk Industri, dan juga meningkatkan jumlah produksi. Pemakaian jumlah bahan bakar yang jelas dan stabil juga merupakan salah satu faktor penting, menjadi pertimbangan dan perhitungan berkaitan dengan pengeluaran dan persediaan bahan bakar ketel uap pipa air. Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa dengan penggunaan bahan bakar Cangkang Sawit mempunyai nilai efisiensi yang lebih tinggi yaitu rata-rata 87,06 % daripada bahan bakar MFO yang mempunyai nilai efesiensi rata-rata 67,06 % , sehingga kinerja mesin boiler berbahan bakar Cangkang Sawit lebih baik daripada mesin boiler berbahan bakar MFO.

**Kata Kunci : Ketel Uap, Efisiensi, Bahan Bakar**

## ABSTRACT

The steam energy needs in the oil industry are in need for the production process and the quality of the products produced by the boiler. Because the boiler is an energy plane that is widely used and considered viable in the world of oil industry in the country of Indonesia. In the study of steam boiler, not enough can only operate and know the function of supporting units operation of steam boiler but at least can calculate the efficiency of steam boiler if it is profitable or not if the sale. In the process of steam production is very influenced by the efficiency and amount of fuel consumption, it is a consideration that should be considered in accordance with industrial capacity. In the general boiler water pipe using fuel palm kernel shell and MFO, therefore the need for the use of palm kernel fuel and MFO needs to be analyzed to know the type of fuel that can improve the efficiency of steam boiler. Increased efficiency of the boiler can provide economical value to the industry, and also increase the amount of production. The use of a clear and stable amount of fuel is also one of the important factors, into consideration and calculation related to the production and fuel supply of boiler steam water pipes. Based on the results of the calculations can be concluded that with the use of palm kernel shells has a higher efficiency value of 87.06% of the fuel MFO has an average value of 67.06%, so that the performance Boiler machine fueled palm shell is better than MFO fuel boiler machine.

**Keywords: steam boiler, efficiency, fuel**

## **KATA PENGANTAR**

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Evaluasi Stabilitas Bendung Pada Daerah Irigasi Namu Sira-Sira Kecamatan Sei Bingai Kabupaten Langkat” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Chandra A Siregar S.T.,M.T, selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ahmad Marabdi S.T.,M.T, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak H.Muharnif ST, MSc, selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Muhammad Yani ST,M.T, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T, Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Affandi, S.T.,M.T, sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesin kepada penulis.

8. Orang tua penulis: (Alm Syahfrijal dan Mega Wati, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Dewi Isnaini, SE, yang mana telah terus mensupport penulis dari awal sampai selsesai.
11. Sahabat-sahabat penulis: Billy Wintana , Ferry, wawan, mellyanto,S.T,Viki dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia teknik Mesin.

Medan, Oktober 2019

**Ikhsan Maulana**

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1       PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
<b>BAB 2       TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>3</b>
2.1 Pengertian Ketel Uap	3
2.1.1 KetelUapPipa Api	3
2.1.2 KetelUap Pipa Air	6
2.2 PrinsipKerjaKetelUap	7
2.3 Komponen-komponen ketel uap	8
2.4 Perpindahan panas	10
2.4.1 Perpindahan secara konveksi	11
2.4.2 Perpindahan panas secara konduksi	11
2.4.3 Perpindahan panas secara radiasi	11
2.5 Bahan bakar yang sering digunakan Ketel uap	11
2.5.1 Bahan bakar padat	12
2.5.2 Bahan bakar cair	13
2.5.3 Bahan bakar gas	13
2.6 Proses pembakaran	14
2.6.1 Prinsip pembakaran	14
2.6.2 Pembakaran Tiga T	15
2.6.3 Neraca Kalor	16
2.6.4 Pembakaran bahan bakar padat	16
2.6.5PembakaranBahanBakarCair	18
2.7 Siklus Rankine Pada KetelUap	20
2.8 Siklus Air Pada Ketel Uap	22
2.9 Termodinamika	23
2.9.1 Prinsip Termodinamik	23
2.9.2 <b>Kesetimbangan Termodinamika</b>	<b>23</b>
2.10 Efisiensi ketel uap	24

	2.11 Proses pengembangan boiler/ ketel uap	27
	2.12 Spesifikasi Ketel Uap	28
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI</b>	<b>29</b>
	3.1 Waktu dan tempat	29
	3.2 Alat-Alat	30
	3.3 Diagram Alir Analisa	36
	3.4 Langkah – langkah pengoperasian ketel uap	37
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>38</b>
	4.1 Langkah-langkah Pengoperasian Ketel uap	38
	4.2 Pengolahan Data	42
	4.2.1 Banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan KetelUap	43
	4.2.2 Jumlah pembakaran Bahanbakar ( <i>Be</i> )	44
	4.2.3 Perbandingan Jumlah Uap Dihasilkan Terhadap Pemakaian Bahan Bakar (E)	44
	4.2.4 Perhitungan Kalor Yang di Hasilkan Boiler	45
	4.2.5 Perhitungan Kalor yang dihasilkan Bahan Bakar	45
	4.2.6 EfisiensiKetelUap	47
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>48</b>
	5.1 Kesimpulan	49
	5.2 Saran	50
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>51</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	
	<b>LEMBAR ASISTENSI</b>	
	<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

		<b>Halaman</b>
Tabel 2.1	Spesifikasi Ketel Uap	28
Tabel 3.1	Jadwal Kegiatan	29
Tabel 4.1	Hasil Perhitungan Efesiensi Bahan Bakar Boiler Berkapasitas 13 Uap Ton/Per Jam Dengan Menggunakan Bahan Bakar Cangkang Dan MFO	48

## DAFTAR GAMBAR

		<b>Halaman</b>
Gambar 2.1	Ketel Uap pipa api	4
Gambar 2.2	Ketel Uap pipa air	7
Gambar 2.3	Jenis bahan bakar kayu, batu bara, dan cangkang sawit	12
Gambar 2.4	Jenis bahan bakar cair	13
Gambar 2.5	Proses neraca kalor	16
Gambar 2.6	Bahan bakar cangkang sawit	17
Gambar 2.7	Batu Bara	18
Gambar 2.8	MFO (Marine Fuel Oil)	18
Gambar 2.9	Siklus Rankine pada Ketel Uap	20
Gambar 3.1	Boiler Pipa Air	30
Gambar 3.2	Hopper	30
Gambar 3.3	Feed Pump	31
Gambar 3.4	Steam Drum	31
Gambar 3.5	IDF (Induced Draught Fan )	32
Gambar 3.6	SAF (Secondary Air Fan)	32
Gambar 3.7	Temperatur	33
Gambar 3.8	Pressure gauge	33
Gambar 3.9	Kontrol Panel Ketel Uap	34
Gambar 3.10	Pressure Gauge Ketel Uap	34
Gambar 3.11	FDF (Forced Draught Fan)	35
Gambar 3.12	Kompresor Angin	35
Gambar 4.1	Sight Glass	38
Gambar 4.2	Valve Venting Udara	38
Gambar 4.3	IDF, FDF, SAF, dan Kompresor Angin	39
Gambar 4.4	Slow Firing ketel uap	39
Gambar 4.5	Settingan Manual Bahan Bakar	40
Gambar 4.6	Sistem kontrol Tekanan Ketel uap	40
Gambar 4.7	Settingan Auto Bahan Bakar	41
Gambar 4.8	Kontrol panel Ketel Uap	41

## DAFTAR NOTASI

Symbol	Keterangan	Satuan
$B_e$	Jumlah pemakaian bahan bakar	kg/bahan bakar perjam
$C_p$	Kapasitas panas pada tekanan konstan	J/kg.K
$E$	Perbandingan jumlah uap yang di hasilkan terhadap bahan bakar	kg uap/bahan bakar
$h_{in} = h_1$	Entalpi air	kJ/kg
$h_{out} = h_2$	Entalpi uap	kJ/kg
$M$	Massa alir (air, bahan bakar)	kg/detik
$Q = Q_{in}$	Panas yang di butuhkan untuk memanaskan boiler	MW
$Q_{BahanBakar}$	Panas yang di hasilkan bahan bakar	kW
$Q_{Boiler}$	Panas yang di hasilkan boiler	kW
$Q$	Debit alir (air, bahan bakar)	m <sup>3</sup> /jam
$S$	Produksi uap	kg uap/jam
$S$	Entropi	kJ/kg.k
$T_1$	Temperature air masuk	K
$T_2$	Temperature uap keluar	K

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi uap di Industri minyak sangat di perlukan untuk proses produksi dan kualitas produk yang dihasilkan ketel uap. Karena Ketel uap merupakan suatu pesawat tenaga yang banyak digunakan dan dianggap layak dalam dunia industri minyak di negara indonesia. Dalam mempelajari Ketel uap, tidak cukup juga hanya bisa mengoperasikan dan mengetahui fungsi unit-unit pendukung pengoperasian Ketel Uap tetapi setidaknya bisa menghitung efesiensi ketel uap apakah menguntungkan atau tidak dioperasikan.

Salah satu kelompok energi yaitu ketel uap yang dipergunakan untuk mengubah air menjadi uap, dimana uap ini berfungsi sebagai zat pemindah tenaga kalor, tenaga kalor yang dikandung di dalam uap ini dinyatakan dengan entalphi yang diperoleh uap dari proses pembakaran bahan bakar, yang mana kalor dipindahkan dari bahan bakar ke air dan uap melalui api dan gas menembus dinding-dinding pipa bidang pemanas (Setyardjo Djoko, 2013).

Pada proses produksi uap sangat di pengaruhi efisiensi dan jumlah pemakaian bahan bakar, hal tersebut merupakan pertimbangan yang harus di perhitungkan sesuai dengan kapasitas Industri. Pada umum nya ketel uap pipa air menggunakan bahan bakar Cangkang awit dan MFO, oleh sebab itu kebutuhan pemakaian bahan bakar cangkang maupun MFO perlu di analisa untuk mengetahui jenis bahan bakar yang bisa meningkatkan efisiensi Ketel uap. Peningkatan efisiensi Ketel uap dapat memberikan nilai ekonomis untuk Industri, dan juga meningkatkan jumlah produksi. Pemakaian jumlah bahan bakar yang jelas dan stabil juga merupakan salah satu faktor penting, menjadi pertimbangan dan perhitungan berkaitan dengan pengeluaran dan persediaan bahan bakar Ketel uap pipa air.

Oleh sebab itu penulis merasa perlu melakukan analisa terhadap efisensi bahan bakar dan juga pemakaian bahan bakar cangkang Sawit dan Ketel uap pipa air tersebut. Berdasarkan uraian yang telah di sebutkan penulis mengambil judul

analisa “Analisis Efisiensi Bahan Bakar Boiler/Ketel Uap Berkapasitas 13 Ton/jam di PT.PACIFIC PALMINDO INDUSTRI”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pada analisis ini, kita akan menghitung efisiensi bahan bakar ketel uap, menjelaskan fungsi dan cara kerja ketel uap, dan proses pengembangan ketel uap.

## 1.3 Ruang Lingkup

Agar pembahasan tidak meluas, maka perlu dibatasi ruang lingkup penelitian pada unit ketel uap 13 Ton/jam di PT.Pacific Palmindo Industri. Yang mana ketel uap yang akan dilakukan penelitian berjenis ketel uap pipa air, dengan tipe Combi Boiler/ Combi Ketel uap.

## 1.4 Tujuan

### 1.4.1. Tujuan umum

Menentukan dan menghitung efisiensi bahan bakar ketel uap dengan menggunakan cangkang sawit dan MFO (Marine Fuel Oil),mengetahui sistem kerja, dan proses pengembangannya.

### 1.4.2. Tujuan Khusus

- Menentukan jumlah pemakaian bahan bakar boiler/jam
- Menentukan jumlah uap terhadap pemakaian bahan bakar
- Menentukan kalor yang di hasilkan ketel uap
- Menghitung nilai kalor yang di hasilkan bahan bakar
- Menentukan efisiensi boiler

## 1.5 Manfaat

Mengetahui bahan bakar yang lebih baik digunakan untuk ketel uap dan ramah lingkungan pada industri kelapa sawit, dalam segi fungsi, efisiensi bahan bakar, dan proses pengembangannya.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### 2.1 Pengertian Ketel Uap

Ketel uap adalah peralatan yang berfungsi merubah air menjadi uap dengan cara dipanaskan. Pembangkit-pembangkit yang ada dituntut untuk andal didalam menyediakan energi listrik yang dibutuhkan oleh konsumen. Keandalan tersebut dapat dicapai apabila semua komponen-komponen didalamnya mendukung dan siap beroperasi tersebut adalah Ketel Uap. Uap yang didapat dari ketel uap digunakan untuk memutar turbin yang dikopel dengan generator.

Dalam hal ini ketel uap bisa didefinisikan sebagai mesin kalor ( thermal engineering) yang mentransfer energi-energi kimia atau energi otomatis menjadi kerja ( usaha ). Ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan steam. Steam diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Ketel uap mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Ketel uap dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran bahan bakar. Ketel uap terbagi dalam 2 jenis yaitu:

1. Ketel Uap Pipa Api, dan
2. Ketel Uap Pipa Air

##### 2.1.1 Ketel uap Pipa Api

Ketel Uap pipa api menjadi tipe Ketel Uap yang paling sederhana. Ketel Uap ini memungkinkan untuk diaplikasikan pada kebutuhan uap air rendah hingga menengah. Hal tersebut dimungkinkan karena desainnya yang tidak lebih rumit dari Ketel Uap pipa air. Ukuran boiler pipa api juga relatif lebih kecil, dan memungkinkan untuk dipindah tempatkan dengan sangat mudah.



Gambar 2.1 Ketel Uap pipa api

Sesuai dengan namanya, ketel uap pipa api mengalirkan gas panas hasil pembakaran ke saluran pipa-pipa yang diselubungi oleh air. saluran pipa berbeda dibuat untuk memaksimalkan penyerapan panas dari gas buang hasil pembakaran tersebut. Level air di dalam tangki ketel uap, wajib terjaga ketinggiannya untuk menghindari *overheat*. Di sisi lain, boiler ini juga dilengkapi dengan *safety relief valve* yang berfungsi untuk melepas tekanan berlebih sehingga terhindar dari ledakan. Banyak tipe ketel uap pipa-api juga sudah dilengkapi dengan sistem pemanas uap lanjut untuk menghasilkan uap superheated. Namun demikian, ketel uap pipa-api memiliki keterbatasan produksi uap air yang hanya maksimal 2500 kg/jam dengan tekanan maksimal 10 bar saja.

- Keuntungan dan kerugian boiler pipa api :

Keuntungan :

1. Tidak membutuhkan setting khusus, sehingga proses pemasangannya mudah dan cepat.
2. Investasi awal untuk ketel uap pipa api ini murah.
3. Bentuknya lebih compact dan portable.
4. Untuk 1 HP ketel uap tidak memerlukan area yang besar.
5. Cukup mudah dioperasikan.

Kerugian :

1. Tekanan steam hasil rendah
2. Kapasitas kecil
3. Pemanasan relatif lama
4. Bahan bakar relatif mahal
5. Banyak energi kalor yang terbuang langsung menuju stack sehingga nilai efisiensinya rendah.

1. Jenis- jenis Ketel Uap pipa api

- Ketel Uap *Haystack*

Ketel Uap ini merupakan boiler dengan desain paling sederhana. Hanya tersusun atas sebuah tungku raksasa yang ditumpangi sebuah panci besar. Ketel Uap yang berbentuk seperti panci ini memang dahulunya terinspirasi oleh panci memasak. Ketel Uap yang dikembangkan di abad 18 ini hanya mampu bekerja di tekanan maksimum 5 psi. Ketel Uap yang saat ini sudah sangat jarang di temui ini menjadi cikal bakal dikembangkannya berbagai desain Ketel Uap baru hingga ditemukannya desain Ketel Uap pipa-api modern.

- Ketel Uap *Centre Flue*

Pada perkembangan selanjutnya boiler mulai didesain lebih kompleks. Ketel Uap *centre-flue* menjadi awal kelahiran Ketel Uap pipa-api, karena gas hasil pembakaran dialirkan ke dalam tanki air melalui sebuah pipa besar sebelum dibuang ke udara luar. Pipa gas buang (*flue gas*) tersebut hanya memiliki satu arah menjauh dari tungku api. Ketel Uap ini menjadi populer setelah digunakan sebagai mesin lokomotif pertama. Ketel Uap ini cukup baik disisi aliran gas buang karena penggunaan cerobong mininya. Akan tetapi tidak terlalu efisien jika digunakan untuk membakar terlalu banyak bahan bakar seperti kayu atau batubara.

- Ketel uap *return-flue*

Ketel uap *return-flue* menjadi pengembangan lebih lanjut dari tipe *centre-flue*. Jika *centre-flue* menggunakan satu pipa aliran gas buang, maka pipa gas buang pada ketel uap *return-flue* dibuat memiliki aliran

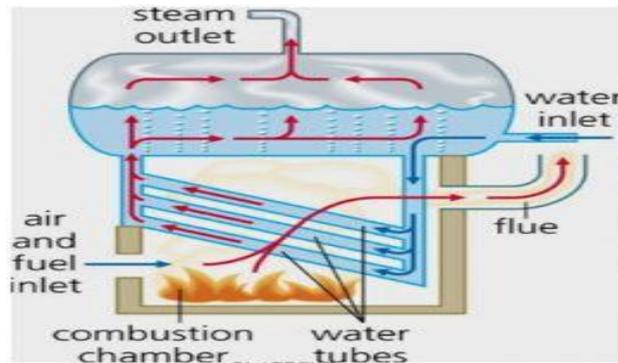
balik berbentuk huruf U. Tujuan dari desain ini adalah untuk lebih meningkatkan efisiensi ketel uap. Ketel uap yang berkembang di awal abad 19 ini digunakan sebagai mesin lokomotif menggantikan ketel uap centre-flue yang tidak terlalu efisien.

- Ketel Uap *Huber*

Ketel Uap Huber menjadi Ketel uap pipa-api pertama yang lebih kompleks dari beberapa jenis Ketel uap sebelumnya. Ketel uap ini sudah tidak menggunakan satu pipa besar sebagai saluran balik gas buang, namun sudah menggunakan beberapa pipa kecil atau *tube* dengan tujuan untuk memaksimalkan perpindahan panas dari gas buang ke air di dalam tanki. Bentuk dari saluran gas buang setelah keluar dari ruang pembakaran juga memiliki desain lebih baik. Desain tersebut membuat distribusi gas menjadi lebih maksimal ke semua saluran pipa.

### 2.1.2 Boiler Pipa Air

Pada Ketel uap pipa air, air berada di dalam pipa sedangkan gas panas berada diluar pipa. Ketel uap pipa air ini dapat beroperasi pada tekanan yang sangat tinggi yaitu hingga lebih dari 100 Bar. Ketel uap pipa air memiliki karakteristik menghasilkan kapasitas dan tekanan steam yang tinggi. Berdasarkan jenis ketelnya, konstruksi yang dipasang dalam ketel dapat lurus dan melengkung. Secara parallel dipasang pipa-pipa yang lurus di dalam ketel dihubungkan dengan 2 buah header. Secara horizontal diatas susunan pipa dipasang header yang dihubungkan dengan drum uap. Susunan kedua header memiliki kecondongan tertentu yang bertujuan dapat mengatur sirkulasi uap dalam ketel. Cara kerja ketel uap pipa air adalah diluar pipa terjadi proses pengapian, kemudian dihasilkan panas yang digunakan untuk memanaskan pipa yang berisi air. Melalui economizer air tersebut terlebih dahulu dikondisikan, kemudian dihasilkan steam yang terlebih dahulu dikumpulkan di dalam sebuah steam-drum. Melalui tahap secondary superheater dan primary superheater setelah tekanan dan temperature sesuai baru steam dilepaskan ke pipa utama distribusi.



Gambar 2.2 Boiler pipa air

- Keuntungan Ketel uap pipa air :
  1. Kapasitas steam besar hingga 450 TPH.
  2. Tekanan operasi mencapai 100 Bar.
  3. Dibanding dengan ketel uap pipa api, ketel uap pipa air memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi.
  4. Untuk melakukan pemeriksaan, pembersihan, dan perbaikan tungku mudah dijangkau.
- Kerugian ketel uap pipa air :
  1. Proses konstruksinya lebih detail.
  2. Investasi awal relative lebih mahal.
  3. Penanganan air yang masuk ke dalam ketel uap dalam sistem ini lebih sensitif sehingga perlu dijaga dan memerlukan komponen pendukung untuk hal ini.
  4. Konstruksinya membutuhkan area yang luas karena mampu menghasilkan kapasitas dan tekanan steam yang lebih besar.

## 2.2 Prinsip Kerja Ketel Uap

Ketel Uap adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap menjadi dengan memanaskan air yang berada di dalam 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 ketel uap adalah uap superheat dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan

pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. Ketel uap yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut dengan steam generator ( pembangkit uap ) mengingat arti kata ketel uap hanya pendidih, sementara pada kenyataannya dari ketel uap superheat tekanan tinggi.

### 2.3 komponen-komponen Ketel Uap

#### 1. furnace ( dapur )

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. Proses perpindahan panas pada furnace terjadi dengan tiga cara:

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

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

#### 2. Steam Drum

Steam drum berfungsi sebagai tempat penampungan air panas serta tempat terbentuknya uap. Drum ini menampung uap jenuh (saturated steam) beserta air dengan perbandingan antara 50% air dan 50% uap. untuk menghindari agar

air tidak terbawa oleh uap, maka dipasang sekat-sekat, air yang memiliki suhu rendah akan turun ke bawah dan air yang bersuhu tinggi akan naik ke atas dan kemudian menguap.

### 3. Superheater

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

### 4. Air Heater

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

### 5. Pengatur pembuangan gas bekas

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

### 6. Safety valve ( katup pengaman )

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

#### 7. Gelas penduga ( sight glass )

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

#### 8. Sirkulasi blowdown

Sirkulasi air pada ketel uap diharapkan dapat mengurangi konsentrasi zat-zat kimia, kotoran lumpur dan mencegah terjadinya busa karena terikatnya padatan kimia ke dalam steam. Ada 2 jenis sirkulasi (*blow down*) pada boiler ini yaitu blow down belakang dan blow down samping.

#### 9. Cerobong asap ( Cimney )

Stack berfungsi sebagai saluran untuk membuang gas asap sisa pembakaran (*fuel gas*) keluar dari boiler. Selain itu dibuat tinggi, *stack* pada ketinggian tertentu agar memperoleh tarikan cerobong asap (*stack draft*) yang cukup serta mencegah terbentuknya asam sulfat dari reaksi sulfur yang terdapat pada gas sisa pembakaran dengan H<sub>2</sub>O yang terdapat pada udara luar. Terbentuknya asam sulfat harus dicegah karena bersifat sangat korosif.

#### 10. Secondary Air Fan ( SAF )

Berfungsi untuk mendorong bahan bakar agar, bahan bakar jatuh di tengah-tengah furnace supaya pembakaran di furnace menjadi sempurna dan berfungsi juga untuk menghidarkan api menyentuh dinding dapur.

### 2.4 Perpindahan panas

panas atau alih bahan (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara dua material atau fluida yang berbeda. Karena sifat dasar panas adalah energi panas akan berpindah tempat yang mempunyai temperatur tinggi menuju ke temperatur yang rendah. Kuantitas atau jumlah perpindahan panasnya berbanding lurus dengan perbedaan temperatur.

Ada tiga macam perpindahan panas yang mendasar yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi atau pancaran.

#### 2.4.1 Perpindahan secara konveksi

Secara konveksi (mengalir) adalah cara perpindahan panas, dimana panas ikut berpindah bersama dengan fluida (udara, air) yang membawanya. Panas akan mengalir secara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan, panas yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu partikel-partikel fluida ini, kemudian partikel fluida tersebut akan bergerak ke suhu yang lebih rendah dimana fluida akan bercampur dengan partikel-partikel fluida lainnya.

Perpindahan panas secara konveksi dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

- a. Konveksi alami, panas mengalir secara alami, misalnya karena perbedaan kepadatan (densitas). Bejana yang berisi (fluida), apabila bagian bawahnya dipanaskan maka fluida yang berkurang kepadatannya bergerak naik dan fluida yang lebih tinggi kepadatannya akan bergerak turun.
- b. Konveksi paksa, panas mengalir karena paksaan, seperti pompa, blower, radiator dll.

#### 2.4.2 Perpindahan panas secara konduksi

Secara konduksi (merambat) adalah cara perpindahan panas dari benda yang memiliki temperatur tinggi menuju temperatur yang rendah, tanpa tergantung dari gerakan benda tersebut. Pada umumnya terjadi pada benda padat.

#### 2.4.3 Perpindahan panas secara radiasi

Secara radiasi (memancar) ialah perpindahan panas tanpa perantara, dimana panas mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah bila benda tersebut terpisah didalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa diantara benda-benda tersebut, maka panas yang dimiliki berubah menjadi gelombang elektromagnetik.

### 2.5 Bahan bakar

Bahan bakar (*fuel*) adalah bahan yang apabila dibakar dapat meneruskan proses pembakaran tersebut dengan sendirinya, disertai dengan pengeluaran kalor. Bahan bakar dibakar dengan tujuan untuk memperoleh kalor tersebut, untuk digunakan baik secara langsung maupun tak langsung.

Sebagai contoh penggunaan kalor pada proses secara langsung ialah:

- Untuk instalasi pemanas
- Untuk memasak di dapur-dapur rumah tangga

Sedangkan contoh penggunaan kalor pada proses tidak langsung ialah:

- Kalor diubah menjadi energi listrik, misalnya power plant (pembangkit listrik), tenaga gas, tenaga diesel, dan tenaga uap .
- Kalor diubah menjadi energi mekanik, misalnya motor bakar

Jenis-jenis bahan bakar yang digunakan untuk ketel uap/boiler pada umumnya ialah:

- a. Bahan bakar padat
- b. Bahan bakar cair
- c. Bahan bakar gas

#### 2.5.1 Bahan bakar padat



Gambar 2.3 jenis bahan bakar kayu, batu bara, dan cangkang sawit

Bahan bakar padat yang terdapat di bumi kita ini berasal dari zat-zat organik. Bahan bakar padat mengandung unsur-unsur antara lain: zat arang atau karbon ( C ), Hidrogen ( H ), zat asam atau oksigen ( O ), zat lemak atau Nitrogen ( N ), Belerang ( S ), Abu dan Air, yang kesemuanya itu terikat dalam satu persenyawaan kimia . Contoh dari bahan bakar padat ialah kayu , cangkang sawit, batubara dan sebagainya. Daya panas yang dihasilkan dapat dipakai untuk memanaskan air menjadi uap untuk menggerakkan peralatan serta menyediakan energi

### 2.5.2 Bahan bakar cair



Gambar 2.4 jenis bahan bakar cair

Bahan bakar cair berasal dari minyak bumi. Minyak bumi didapat dari dalam tanah dengan jalan mengebornya di ladang-ladang minyak, dan memompanya sampai ke atas permukaan bumi, untuk selanjutnya diolah lebih lanjut menjadi berbagai jenis minyak bakar. Bensin atau gasolin, premium, minyak tanah, minyak solar, dan MFO (Marine Fuel Oil) yang merupakan salah satu contoh bahan bakar yang berbentuk cair. jenis Bahan bakar cair yang umum digunakan dalam industri seperti halnya jual solar industri transportasi ataupun rumah tangga yaitu fraksi minyak bumi.

### 2.5.3 Bahan bakar gas

Didalam tanah banyak terkandung : gas bumi (*petrol gas*) atau sering pula disebut gas alam yang timbul pada saat proses pembentukan minyak bumi, gas tambang, dan gas rawa ( $\text{CH}_4$  atau metan). Seperti halnya minyak bumi, gas alam tersebut diperoleh dengan jalan pengeboran dari dalam tanah, baik di daratan maupun di lepas pantai terhadap lokasi-lokasi yang diduga terdapat kandungan gas alam. Gas alam tersusun dari parafin hidrokarbon, khususnya gas metana bercampur dengan nitrogen,  $\text{N}_2$ , dan karbon dioksida,  $\text{CO}_2$ , diperoleh dari tambang dengan pengeboran tanah melalui batuan kapur atau batuan pasir. Kandungan metananya di atas 90%. Sulfur dalam jumlah yang sangat sedikit juga ada. Karena metan merupakan komponen terbesar dari gas alam, biasanya sifat metan digunakan untuk membandingkan sifat-sifat gas alam terhadap bahan bakar lainnya. Gas alam merupakan bahan bakar dengan nilai kalor tinggi yang tidak memerlukan fasilitas penyimpanan. Gas ini bercampur dengan udara dan tidak menghasilkan asap.

## 2.6 Proses pembakaran

### 2.6.1 Prinsip pembakaran

Proses pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara bahan bakar dengan oksigen ( $O_2$ ) dari udara, disertai cahaya dan menghasilkan kalor. Hasil pembakaran yang utama adalah Karbondioksida ( $CO_2$ ), uap air ( $H_2O$ ) dan disertai energi panas.

Sedangkan hasil pembakaran yang lain adalah Karbonmonoksida ( $CO$ ), abu (ash),  $NO_x$ , atau  $SO_x$  tergantung pada jenis bahan bakarnya. Dalam pembakaran proses yang terjadi adalah oksidasi dengan reaksi sebagai berikut:

- Karbon + oksigen = Karbon dioksida + panas
  - Hidrogen + oksigen = Uap air + panas
  - Sulfur + oksigen = Sulfur dioksida + panas
- Beberapa hal yang terjadi pada proses pembakaran :

#### a. Pembakaran dengan udara kurang

Dikatakan campuran rich. Pembakaran ini menghasilkan api reduksi. Api reduksi ditandai oleh lidah api panjang, kadang-kadang sampai terlihat berasap. Keadaan ini juga disebut pembakaran tidak sempurna.

Pada proses ini terjadi perpindahan panas berkurang dan panas hilang karena bahan bakar berlebih serta ada bahan bakar yang tak terbakar di samping terdapat hasil pembakaran seperti  $CO$ ,  $CO_2$ , Uap air, dan  $N_2$ .

#### b. Pembakaran dengan udara berlebih

Dikatakan campuran lean. Pembakaran ini menghasilkan api oksidasi. Pada proses ini terjadi perpindahan panas berkurang dan panas hilang karena udara berlebih serta hasil pembakaran seperti  $CO_2$ , Uap air,  $O_2$  dan  $N_2$ .

#### c. Pembakaran dengan udara optimum

Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dan panas yang hilang minimum serta terdapatnya hasil pembakaran seperti  $CO_2$ , Uap air, dan  $N_2$ . Dalam pembakaran, ada pengertian udara primer yaitu udara yang dicampurkan dengan bahan bakar di dalam burner (sebelum pembakaran) dan udara sekunder yaitu udara yang dimasukkan dalam ruang pembakaran setelah

burner, melalui ruang sekitar ujung burner atau melalui tempat lain pada dinding dapur.

Pada umumnya bahan bakar telah berubah menjadi uap (combustible vapor) sebelum terbakar. Untuk mempercepat terjadinya “combustible vapor” diperlukan proses pengabutan. Butiran-butiran kabut tersebut luas permukaannya menjadi sangat besar, hingga mempercepat penguapan.

### 2.6.2 Pembakaran T

Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “tiga T” pembakaran yaitu :

1. *Temperature*, suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan dan menjaga penyalaan bahan bakar,
2. *Turbulence*, Turbulensi atau pencampuran oksigen dan bahan bakar yang baik, dan
3. *Time*, Waktu yang cukup untuk pembakaran yang sempurna.

Bahan bakar yang umum digunakan seperti gas alam dan propan biasanya terdiri dari karbon dan hidrogen. Uap air merupakan produk samping pembakaran hidrogen, yang dapat mengambil panas dari gas buang, yang mungkin dapat digunakan untuk transfer panas lebih lanjut.

Gas alam mengandung lebih banyak hidrogen dan lebih sedikit karbon per kg daripada bahan bakar minyak, sehingga akan memproduksi lebih banyak uap air. Sebagai akibatnya, akan lebih banyak panas yang terbawa pada pembuangan saat membakar gas alam.

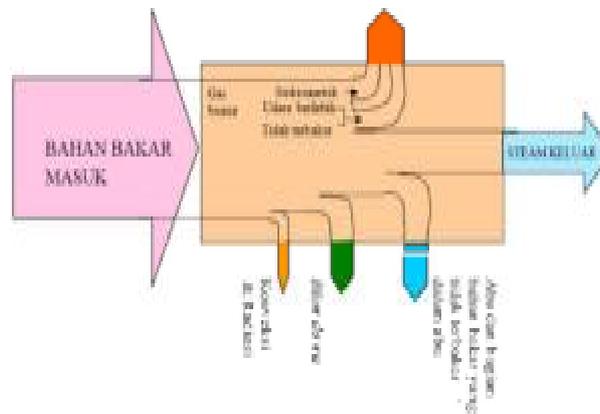
Terlalu banyak , atau terlalu sedikitnya bahan bakar pada jumlah udara pembakaran tertentu, dapat mengakibatkan tidak terbakarnya bahan bakar dan terbentuknya karbon monoksida. Jumlah  $O_2$  tertentu diperlukan untuk pembakaran yang sempurna dengan tambahan sejumlah udara ( udara berlebih ) diperlukan untuk menhamin pembakaran yang sempurna.

Saat ini, hampir seluruh bahan bakar untuk ketel uap, karena dibatasi oleh standar polusi, sudah mengandung sedikit atau tanpa sulfur. Sehingga tantangan utama dalam efisiensi pembakaran adalah mengarah ke karbon yang tidak

terbakar ( dalam abu atau gas yang tidak terbakar sempurna ), yang masih menghasilkan CO slain CO<sub>2</sub> .

### 2.6.3 Neraca Kalor

Neraca kalor atau neraca energi adalah perimbangan antara energy masuk (input) dengan energy berguna (output) dan kehilangan energy (loses). Sebagai energy masuk atau suplai energy (Qin) adalah jumlah energy hasil pembakaran bahan bakar, neraca kalor di tunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.5 Proses neraca kalor

### 2.6.4 Pembakaran bahan bakar padat

#### 1. Cangkang Sawit

Cangkang sawit adalah bagian keras yang terdapat pada buah kelapa sawit yang berfungsi melindungi isi atau kernel dari buah sawit tersebut. Hampir sama dengan tempurung kelapa yang sering kita jumpai sehari-hari. Karena cangkang sawit memiliki kandungan nilai kalori 2.770,544 kkal dan 3.881,15 kkal yang cukup tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar pada pembangkit listrik (Power Plant).



Gambar 2.6 Bahan bakar cangkang sawit

Indonesia adalah salah satu negara penghasil sawit terbesar di dunia. Penyebaran sawit hampir di seluruh penjuru tanah air. Masyarakat petani secara bertahap mulai berpindah ke tanaman sawit. Perkembangan sawit yang pesat dengan sendirinya berdampak juga pada perkembangan cangkang sawit. Semakin banyak pengolahan sawit, maka semakin banyak pula cangkang sawit yang di hasilkan. Karena cangkang sawit merupakan bagian dari buah sawit.

Cangkang sawit ( Palm Kernel Shell ) merupakan sumber bioenergi yang memiliki nilai kalori tinggi berkisar 2770,544 kkal s/d 3881,15 kkal ( *Sumber: Jurnal Gideon Rewin Napitupulu, Eddy Warman, USU* ). Dan memiliki kandungan sulphur yang sangat rendah. Selain dapat mengurangi emisi karbon, pemanfaatan cangkang sawit sebagai bahan bakar dinilai lebih menguntungkan. Ketersediaan pasokan cangkang sawit juga tidak perlu diragukan mengingat area perkebunan kelapa sawit di Indonesia masih sangat luas.

Bagi industri pengolahan sawit sendiri, cangkang sawit merupakan nilai tambah bagi mereka. Karena cangkang sawit yang merupakan limbah industri, bisa mereka manfaatkan untuk kebutuhan sumber energi mereka. Dulunya mungkin mereka harus memasok batu bara dari pihak lain untuk bahan bakar, sekarang bisa memanfaatkan limbah mereka sendiri sehingganya biaya produksi bisa ditekan. Selain itu cangkang sawit juga memiliki nilai ekonomis, karena cangkang sawit juga bisa dijual dengan harga yang cukup bagus, sehingga income/pendapatan perusahaan juga bertambah.

## 2. Batu Bara

Batubara adalah batuan yang mudah terbakar berwarna coklat tua yang dihasilkan ketika tanaman darat dan air menumpuk, terkubur selama

usia geografis yang ditransmisikan oleh panas dan tekanan. Butuh waktu lama untuk membentuk lapisan endapan batu bara yang tebal dan lebar tempat tanah tenggelam perlahan. Seharusnya, mereka dikubur di bawah tanah perlahan-lahan sementara tanah ditenggelamkan, pasir menutupinya, dan tanaman tumbuh subur di atasnya. Bahan batu bara mempunyai nilai kalori 6322 kkal/kg.



Gambar 2.7 Batu Bara

## 2.6. 5 Pembakaran Bahan Bakar Cair

### 1. MFO ( Marine Fuel Oil )



Gambar 2.8 MFO ( Marine Fuel Oil )

Marine Fuel Oil atau MFO merupakan bahan bakar minyak yang banyak digunakan untuk pembakaran langsung pada industri besar dan digunakan sebagai bahan bakar untuk *Steam Power Station*. MFO sendiri merupakan bahan bakar

minyak yang tidak termasuk dalam jenis *distilate* tetapi masuk kedalam jenis residu yang lebih kental pada suhu kamar. Teksturnya sendiri berwarna hitam pekat dan tingkat kekentalannya lebih tinggi dibanding minyak diesel.

MFO memiliki berat jenis  $860 \text{ kcal/m}^3$  dan nilai panas pembakaran (HV)  $10.000 \text{ kkal/kg}$ . MFO saat ini dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk pemanas boiler( sebagai pengganti residu), bahan bakar mesin diesel pada kapal laut dan pembangkit listrik. Pemanfaatan MFO sebagai bahan bakar tidak dapat diaplikasikan secara langsung, akan tetapi harus melalui proses treatment yang bertujuan untuk menurunkan kekentalan dan penyeragaman ukuran bahan bakar.

## 2. Solar

Bahan bakar cair berasal dari minyak bumi. Minyak bumi didapat dari dalam tanah dengan jalan mengebornya diladang-ladang minyak, dan memompanya sampai ke atas permukaan bumi untuk selanjutnya diolah lebih lanjut menjadi berbagai jenis minyak bakar.

Bahan bakar cair yang biasa dipakai dalam industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi minyak bumi. Minyak bumi adalah campuran berbagai hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa: parafin, naphtena, olefin, dan aromatik. Kelompok senyawa ini berbeda dari yang lain dalam kandungan hidrogennya. Minyak mentah, jika disuling akan menghasilkan beberapa macam fraksi, seperti: bensin atau premium, kerosen atau minyak tanah, minyak solar, minyak bakar, dan lain-lain. Setiap minyak petroleum mentah mengandung keempat kelompok senyawa tersebut, tetapi perbandingannya berbeda. Perbedaan minyak mentah yang utama ialah:

- a. Yang bersifat Parafinis (*paraffinic base*), ialah persenyawaan zat air arang yang membentuk rantai yang panjang atau sering disebut sebagai
- b. persenyawaan *alifatis*, yang terdiri dari Alkan  $C_nH_{2n+2}$  atau Alkin  $C_nH_{2n}$ .
- c. Yang bersifat Naphtenis (*naphthenic base*), ialah persenyawaan zat air arang yang berbentuk *siklis*, atau Aromat  $C_nH_{2n+6}$  atau Cyclan  $C_nH_{2n}$ .

### 2.7 Siklus Rankine Pada ketel Uap

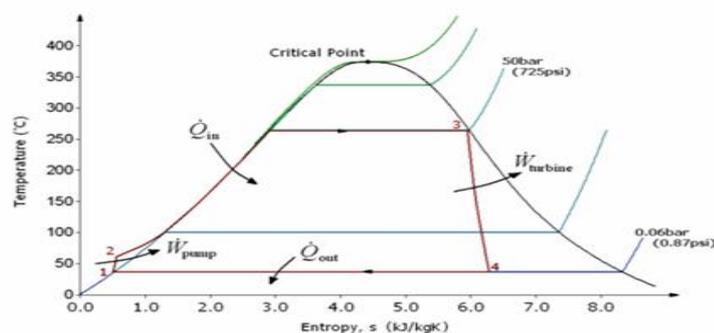
Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Panas disuplai secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai fluida yang bergerak. Siklus rankine merupakan model

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

Siklus Rankine kadang-kadang diaplikasikan sebagai siklus Carnot, terutama dalam menghitung efisiensi. Perbedaannya hanyalah siklus ini menggunakan fluida yang bertekanan, bukan gas, efisiensi siklus ini menggunakan fluidanya. Fluida pada Siklus Rankine mengikuti aliran tertutup dan digunakan secara konstan. Berbagai jenis karakteristik fisika dan kimia, seperti tidak beracun, terdapat dalam jumlah besar, dan murah.

Prinsip Kerja dari Sistem Siklus Rankine:

Fluida kerja berupa air jenuh pada kondensor dikompresi pompa sampai masuk boiler atau ketel uap. Dari proses kompresi pada pompa terjadi kenaikan temperatur kemudian di dalam boiler air dipanaskan. Sumber energi panas berasal dari proses pembakaran atau dari energi yang lainnya seperti nuklir, panas matahari, dan lainnya. Uap yang sudah dipanaskan di boiler kemudian masuk turbin. Fluida kerja mengalami ekspansi sehingga temperatur dan tekanan turun. Selama proses ekspansi pada turbin terjadi perubahan dari energi fluida menjadi energi mekanik pada sudu-sudu menghasilkan putaran poros turbin. Uap yang keluar dari turbin kemudian dikondensasikan pada kondensor sehingga sebagian besar uap air menjadi mengembun. Kemudian siklus berulang lagi.



Gambar 2.9 Siklus Rankine pada Boiler

Siklus Rankine ideal tidak melibatkan irreversibel internal dan terdiri dari 4 tahapan proses :

1 – 2 merupakan proses kompresi isentropik dengan pompa

- 2 – 3 Penambahan panas dalam boiler pada  $P = \text{Konstan}$
- 3 – 4 Ekspansi isentropik ke dalam turbin
- 4 – 1 pelepasan panas di dalam kondensor pada  $P = \text{konstan}$

Air masuk pompa pada kondisi 1 sebagai cairan jenuh dan dikompresi sampai tekanan operasi ketel uap. Temperatur air akan meningkat selama kompresi isentropik ini melalui sedikit pengurangan dari volume spesifik air. Jarak vertikal anatar 1 – 2 pada  $T - s$  diagram ini biasanya dlebihkan untuk lebih amannya proses.

Air memasuki ketel uap sebagai cairan terkompresi pada kondisi 2 dan akan manjdi uap superheated pada kondisi 3. Dimna panas diberikan oleh ketel uap air pada  $T$  tetapp. Ketel uap dan seluruh bagian yang menghasilkan steam ini disebut sebagai steam generator.

Uap superheated pada kondisi 3 kemudian akan memasuki turbin untuk diekspansi secara isentropik dan akan menghsilkan kerja unutup memutar shaft yang terhubung dengan generator lsitrik sehingga dihasilkan listrik.  $P$  dan  $T$  dari steam akam turun selama proses ini menuju keadaan 4 di mana steam akan masuk kondensor dan biasanya sudah berupa uap jenuh. Steam ini akan dicairkan pada  $P$  konstan di dalam kondenser dan akan meninggalkan kondeser sebagai cairan jenuh yang akan masuk pompa untuk melengkapi siklus ini.

Area dibawah kurva proses 2 – 3 menunjukkan panas yang ditransfer ke boiler, dan area di bawah kurva proses 4 – 1 menunnjukkan panas yang dilepaskan di kondenser. Perbedaan dari kedua aliran ini adalah kerja netto yang dihasilkan selama siklus.

## 2.8 Siklus Air Pada Ketel Uap

Siklus air merupakan suatu mata rantai rangkaian siklus fluida kerja. Ketel uap mendapat pasokan air dan menghasilkan uap untuk dialirkan ke turbin. Air sebagai fluida kerja diisikan ke ketel uap menggunakan pompa air pengisi dengan melalui *economizer* dan ditampung di dalam *steam drum*.

*Economizer* adalah alat yang merupakan pemanas air terakhir sebelum masuk ke drum. Di dalam *economizer* air menyerap panas gas baung yang keluar

dari *superheated* sebelum dibuang ke atmosfer melalui cerobong. Peralatan yang dilalui dalam siklus air adalah *drum boiler*, *down comer*, *header bawah (bottom header)*, dan *riser*. Siklus air di steam drum adalah, air dari drum turun melalui pipa-pipa down comer ke header bawah (bottom header). Dari header bawah air didistribusikan ke pipa-pipa pemanas (riser) yang tersusun membentuk dinding ruang bakar boiler. Di dalam riser air mengalami pemanasan dan naik ke drum kembali akibat perbedaan temperatur.

Perpindahan panas dari api (flue gas) ke air di dalam pipa-pipa boiler terjadi secara radiasi, konveksi dan konduksi. Akibat pemanasan selain temperatur naik sehingga mendidih juga terjadi sirkulasi air secara alami, yakni dari drum turun melalui down comer ke header bawah dan naik kembali ke drum melalui pipa-pipa riser. Adanya sirkulasi ini sangat diperlukan agar terjadi pendinginan terhadap pipa-pipa pemanas dan mempercepat proses perpindahan panas. Kecepatan sirkulasi akan berpengaruh terhadap produksi uap dan kenaikan tekanan serta temperaturnya.

Selain sirkulasi alami, juga dikenal sirkulasi paksa (*forced circulation*). Untuk sirkulasi jenis ini digunakan sebuah pompa sirkulasi (*circulation pump*). Umumnya pompa sirkulasi mempunyai laju sirkulasi sekitar 1,7 artinya jumlah air yang disirkulasikan 1,7 kali kapasitas penguapan. Beberapa keuntungan dari sistem sirkulasi paksa antara lain :

- Waktu start (pemanasan) lebih cepat
- Mempunyai respon yang lebih baik dalam mempertahankan aliran air ke pipa-pipa pemanas pada saat start maupun beban penuh.
- Mencegah kemungkinan terjadinya stagnasi pada sisi penguapan

## 2.9 Termodinamika

Termodinamika berasal dari kata Yunani dimana *Thermos* yang artinya panas dan *Dynamic* yang artinya perubahan. Termodinamika merupakan ilmu yang menggambarkan usaha untuk mengubah kalor (perpindahan energi yang disebabkan perbedaan suhu) menjadi energi serta sifat-sifat pendukungnya. Termodinamika berhubungan erat dengan fisika energi, panas, kerja, entropi dan

Kespontanan proses, Termodinamika juga berhubungan dengan mekanika statik. Cabang ilmu fisika ini mempelajari pertukaran energi dalam bentuk kalor dan kerja, sistem pembatas dan lingkungan. Aplikasi dan penerapan termodinamika dapat terjadi pada tubuh manusia, peristiwa meniup kopi panas, perkakas elektronik, refrigerator, mobil, pembangkit listrik dan industri.

### 2.9.1 Prinsip Termodinamika

Prinsip Termodinamika sebenarnya adalah hal alami yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, termodinamika direkayasa sedemikian rupa sehingga menjadi bentuk mekanisme yang dapat membantu manusia dalam kegiatannya. Aplikasi termodinamika yang begitu luas dimungkinkan karena perkembangan ilmu termodinamika yang begitu luas dimungkinkan karena perkembangan dimulai termodinamika sejak abad 17. Perkembangan ilmu termodinamika dimulai dengan pendekatan makroskopik yaitu perilaku umum partikel zat yang menjadi media pembawa energi.

### 2.9.2 kesetimbangan termodinamika

Sebuah benda dapat dikatakan dalam keadaan kesetimbangan termodinamika bila nilai besaran keadaan makroskopiknya tidak lagi berubah dalam jangka waktu yang alam. Termodinamika tidak meninjau bagaimana proses perubahan sistem mencaoi kondisi kesetimbangan termodinamika, karena itu tidak ada variabel waktu dalam realisasi-realisis termodinamika. Tetapi, dalam keadaan nyata, kesetimbangan termodinamika adalah hal yang mustahil terjadi. Hal ini dikarenakan sebuah benda tidak akan lepas dari interaksinya dengan lingkungan yang mempengaruhi keadaan benda sehingga perubahan dapat terjadi begitu cepat. Pengecualian jika kondisi benda mendekati kesetimbangan termodinamika, realisasi termodinamika dapat diterapkan. Sebagai contoh hukum radiasi benda hitam dapat diterapkan pada matahari dan bintang walau tidak benar-benar dalam keadaan setimbang sehingga analisa spektrum gelombang dapat dilakukan.

## 2.10 Efisiensi ketel uap

Efisiensi ketel uap adalah sebuah besaran yang menunjukkan hubungan antara supply energi masuk ke dalam boiler dengan energi keluaran yang dihasilkan oleh boiler.

Efisiensi boiler dapat dihitung dengan dua cara, yaitu :

### 1. Metode Langsung

$$\text{Efisiensi Ketel uap (\%)} = \frac{Q \times (H_g - H_f)}{Q \times gcv} \times 100 \quad (2.1)$$

Parameter yang di pantau untuk perhitungan efisiensi boiler dengan metode langsung adalah :

- a. Jumlah steam yang di hasilkan per jam ( $Q$ ) dalam kg/jam.
- b. Jumlah bahan bakar yang di gunakan per jam ( $Q$ ) dalam kg/jam.
- c. Tekanan kerja (dalam bar) dan suhu lewat panas ( $^{\circ}\text{C}$ ), jika ada.
- d. Suhu air umpan ( $^{\circ}\text{C}$ )
- e. Jenis bahan bakar dan nilai panas kotor bahan bakar atau *Gross Calories Value* (GVC) dalam kkal/kg bahan bakar.

### 2. Metode Tidak Langsung

Yang dimaksud dengan perhitungan efisiensi boiler tidak langsung adalah perhitungan yang tidak langsung melibatkan komponen utama rumusan efisiensi boiler yakni energi output dan input, melainkan dengan jalan menghitung kerugian-kerugian yang ada. Perhitungan efisiensi tidak langsung dilakukan dengan cara terbalik yakni fokus ke parameter-parameter losses serta energy credit Yang dimaksud dengan kredit energi adalah energi-energi sekunder yang masuk ke boiler selain energi primer dari bahan bakar. Sedangkan losses adalah parameter-parameter energi terbuang yang tidak terkonversikan menjadi energi panas di dalam uap air. Petunjuk perhitungan dan pengukuran dari parameter-parameter tersebut sangat datail dijabarkan melalui standardisasi.

Metode tidak langsung dilakukan dengan sangat detail pada setiap parameter yang diukur, sehingga tingkat keakuratannya dianggap jauh lebih baik dibandingkan dengan metode langsung. Namun tentu metode tidak

langsung ini membutuhkan biaya yang lebih besar karena membutuhkan peralatan-peralatan khusus di dalamnya. Atas dasar itulah banyak yang menganggap metode tidak langsung ini lebih cocok digunakan pada boiler-boiler skala besar, dan tentu tidak terlalu cocok digunakan untuk menghitung efisiensi boiler kecil.

Secara praktis efisiensi boiler dapat dihitung dengan menggunakan grafik rugi-rugi panas dan eksek udara. Dalam hal ini penulis akan mempergunakan metode langsung dalam melakukan perhitungan untuk mengetahui efisiensi yang terjadi pada boiler.

Proses yang terjadi pada boiler adalah air yang masuk ke dalam boiler dipanaskan hingga menjadi uap, maka panas yang dibutuhkan oleh boiler untuk memanaskan air sampai menjadi uap dengan kapasitas produksi uap pada boiler 13 Ton, Secara teoritis kesetimbangan energynya di tuliskan sebagai berikut:

$$Q + h_{in} = h_{out} + W \quad (2.2)$$

Karna tidak ada kerja yang terjadi di dalam ketel uap maka  $W = 0$ , sehingga persamaan tersebut menjadi  $Q = h_{out} - h_{in}$ . Kondisi tersebut adalah kondisi aktual, dimana  $h_{in} = h_1$  dan  $h_{out} = h_2$ . Jadi banyaknya panas yang dibutuhkan untuk memanaskan air sampai menjadi uap berkapasitas produksi uap pada boiler 13 ton maka :

$$Q_{in} = S ( h_2 - h_1 ) \quad (2.3)$$

Untuk proses pembakaran pada boiler digunakan bahan bakar solar dang ass sehingga jumlah pemakaian bahan bakar,  $B_e$  (kg bahan bakar/jam) dapat dihitung, secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$B_e = \frac{Q}{N_{kb}} \quad (2.4)$$

Perbandingan jumlah uap yang dihasilkan terhadap pemakaian bahan bakar,  $E$ (kg uap/kg bahan bakar).

$$E = \frac{S}{B_e} \quad (2.5)$$

Sehingga untuk mendapatkan panas yang dihasilkan boiler dituliskan sebagai berikut:

$$\square = \rho_{air} \times Q_{air} \quad (2.6)$$

$$Q_{Boiler} = \square (h_2 - h_1) \quad (2.7)$$

Sehingga panas yang dihasilkan oleh bahan bakar secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Q_{BahanBakar} = \square \times N_{kb} \quad (2.8)$$

Kemudian untuk menentukan efisiensi boiler berdasarkan rumus yang telah diketahui dapat dituliskan sebagai berikut :

$$h_{Boiler} = \frac{Q_{Boiler}}{Q_{BahanBakar}} \times 100\% \quad (2.9)$$

Spesifik gravity (SG) merupakan perbandingan densitas suatu fluida terhadap fluida standart (*reference*), dan untuk menentukan massa jenis fluida dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$SG_{Fluida} = \frac{\rho_{Fluida}}{\rho_{air}} \quad (2.10)$$

$$\rho_{Fluida} = \rho_{air} \times SG_{Fluida} \quad (2.11)$$

## 2.11 Proses pengembangan ketel uap

Dalam hal ini perlu kita ketahui bagaimana cara pengembangan boiler yang mana unit ini sangat penting bagi kita, karna boiler merupakan unit kerja yang bisa menghasilkan energi yang sangat penting untuk unit pemanas. Karena boiler unit kerja penghasil steam(uap) yang mana hasilnya bisa kita lakukan keproses berikutnya, misalnya uap yang sudah di hasilkan oleh boiler bisa kita gunakan untuk proses kerja turbin uap yang mana proses ini akan menjadi proses mekanik dan proses selanjutnya akan menjadi energi listrik yang dilakukan oleh generator pada turbin uap.

Dalam proses pengembangan ini , dimana zaman sudah makin maju proses pembakaran boiler tidak hanya memakai solar, gas , atau Mfo. sekarang kita bisa memakai bahan bakar padat yaitu cangkang sawit, karena sawit

merupakan limbah dari kelapa sawit yang sekarang ini bisa kita gunakan sebagai bahan bakar boiler. Yang mana lebih efesien dan tidak mahal harganya.

Contohnya di perusahaan oleochemical seperti PT.Pacific Palmindo Industri yang menggunakan Boiler berkapasitas 13 ton/jam berbahan bakar cangkang sawit yang disebut combi boiler. Boiler ini relatif efisien dioperasikan karena lebih murah ketimbang memakai minyak MFO boiler yang juga ada di perusahaan tersebut. Dalam satu hari bisa menghasilkan sekitar 312 ton uap dengan memakai bahan bakar sekitar 30 ton cangkang sawit. Hal ini sangat murah dibandingkan unit boiler yang lain yang berbahan bakar selain cangkang sawit.

## 2.12 Spesifikasi Ketel Uap

Tabel 2.1 Kondisi Operasi Ketel Uap di PT.Pacific Palmindo Industri

No.	Uraian	Keterangan
1	Jenis pipa	Pipa Air
2	Kapasitas Uap Beroperasi	13 Ton/jam
3	Jenis Bahan Bakar	Cangkang Sawit/MFO
4	Temperatur air didalam ketel uap	100 °C
5	Temperatur uap keluar	156 °C
6	Tekanan air masuk	9,25 Kg/cm <sup>2</sup>
7	Tekanan uap keluar	9,50 Kg/cm <sup>2</sup>
8	Tekanan air pompa	10,4 Kg/cm <sup>2</sup>
9	Debit air	9 m <sup>3</sup> /jam
10	Operasi	24 jam

*Sumber: PT.Pacific Palmindo Industri*

Pada tabel diatas kita sudah mengetahui spesifikasi ketel uap yang akan kita uji. Bahan bakar yang digunakan ada 2 jenis yaitu cangkang sawit dan MFO yang mempunyai karakteristik berbeda.

- Cangkang sawit

$$\text{Nilai kalori netto, ( NCV )} = (2.770,544 \text{ kkal} - 3.881,15 \text{ kkal})$$

*3100 kkal yang di pakai*

Debit cangkang, ( $Q_{Cangkang}$ ) = 1,8 m<sup>3</sup>/jam

Sfesifik Gravity = 1,2

(sumber: jurnal Gideon Rewin Napitupulu, Eddy Warman, USU)

- MFO (Marine Fuel Oil)

Nilai kalori netto, ( NCV) = 10000 kkal/kg

Debit MFO, ( $Q_{MFO}$ ) = 0,80m<sup>3</sup>/jam

SfesifikGravity = 0,94

(sumber: [www. Nilai kalori MFO/keretauap-ku4.blogspot.com](http://www.Nilai%20kalori%20MFO/keretauap-ku4.blogspot.com))

### BAB 3

## METODOLOGI

### 3.1 Waktu dan tempat

#### 3.1.1 waktu

Dalam melaksanakan Tugas Sarjana ini saya melaksanakannya pada waktu semester Delapan tahun ajaran 2019-2020 dan di perkirakan akan selesai selama kurang lebih 6 bulan, seperti ditunjukkan pada tabel 3.1. berikut:

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan

No Kegiatan	Bulan					
	1	2	3	4	5	6
1 Pengajuan Judul	■	■				
2 Studi Literatur			■	■		
3 Survey Data				■	■	
5 Analisis Data					■	■
6 Penyelesaian Skripsi						■

#### 3.1.2 Tempat

Adapun tempat yang akan dijadikan tempat pelaksana Tugas Sarjana antara lain adalah sebagai berikut:

##### 1. Kampus UMSU

Pada tempat ini penulis melaksanakan pengerjaan Tugas Sarjana berupa pembimbingan dari dosen pembimbing, pengambilan referensi di perpustakaan, searching internet untuk pencarian bahan bahan yang berkaitan dengan Tugas Sarjana.

## 2. PT.Pacific Palmino Industri

Di tempat ini saya langsung menganalisis sistem kerja ketel uap/boiler berkapasitas 13 ton/jam dengan menggunakan bahan bakar cangkang sawit dan MFO. Di tempat ini saya meminta data-data spesifikasi, performance dan kegunaan boiler/ketel uap serta meminta bimbingan dari karyawan, supervisor dan manager di perusahaan ini.

### 3.2 Alat-Alat

#### 1. Boiler Pipa Air

sebagai unit utama untuk di analisis.



Gambar 3.1. Boiler Pipa Air

#### 2. Hopper

Berfungsi sebagai wadah untuk menyimpan bahan bakar.



Gambar 3.2. Hopper

3. Feed pump

unit untuk mentransfer air ke steam drum.



Gambar 3.3. Feed Pump

4. Steam Drum

Steam drum berfungsi sebagai tempat penampungan air panas serta tempat terbentuknya uap.



Gambar 3.4. Steam Drum

5. IDF (Induced Draft Fan )

ID Fan berfungsi untuk mempertahankan pressure pada furnace boiler dan bekerja pada tekanan atmosfer rendah karena digunakan untuk menghisap gas dan abu sisa pembakaran pada boiler untuk selanjutnya dibuang melalui stack.



Gambar 3.5 IDF (Induced Draught Fan )

6. SAF ( Secondary Air Fan )

berfungsi untuk mendorong bahan bakar dan menghindarkan api pembakaran mengenai dinding dapur boiler.



Gambar 3.6. SAF (Secondary Air Fan)

7. Temperatur Gauge ( Temperatur Air

Berfungsi untuk mengetahui berapa temperatur air yang dipakai untuk ketel uap.



Gambar 3.7 Temperatur Gauge

8. Pressure gauge

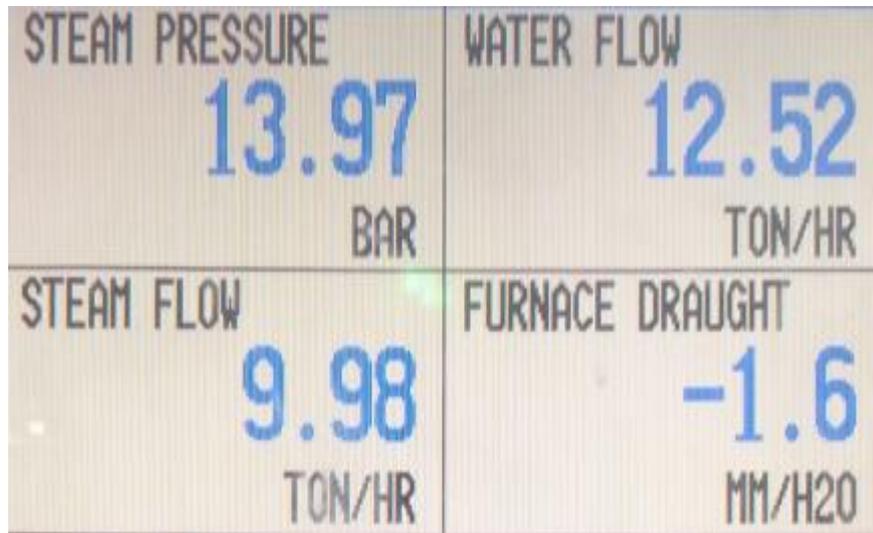
Berfungsi untuk mengetahui tekanan air



Gambar 3.8. Pressure gauge

9. Kontrol Panel ketel uap

Berfungsi untuk mengetahui berapa tekanan yang akan d gunakan.



Gambar 3.9 Kontrol Panel Ketel Uap

10. Pressure Gauge Ketel Uap

Untuk mengetahui tekanan pada ketel uap.



Gambar 3.10 Pressure Gauge Ketel Uap

11. Forced Draught Fan (FDF)

Fan ini bekerja pada tekanan tinggi dan berfungsi menghasilkan udara sekunder (Secondary Air) yang akan dialirkan ke dalam boiler untuk mencampur udara dan bahan bakar dan selanjutnya digunakan sebagai udara pembakaran pada furnace boiler.



Gambar 3.11 Forced Draught Fan (FDF)

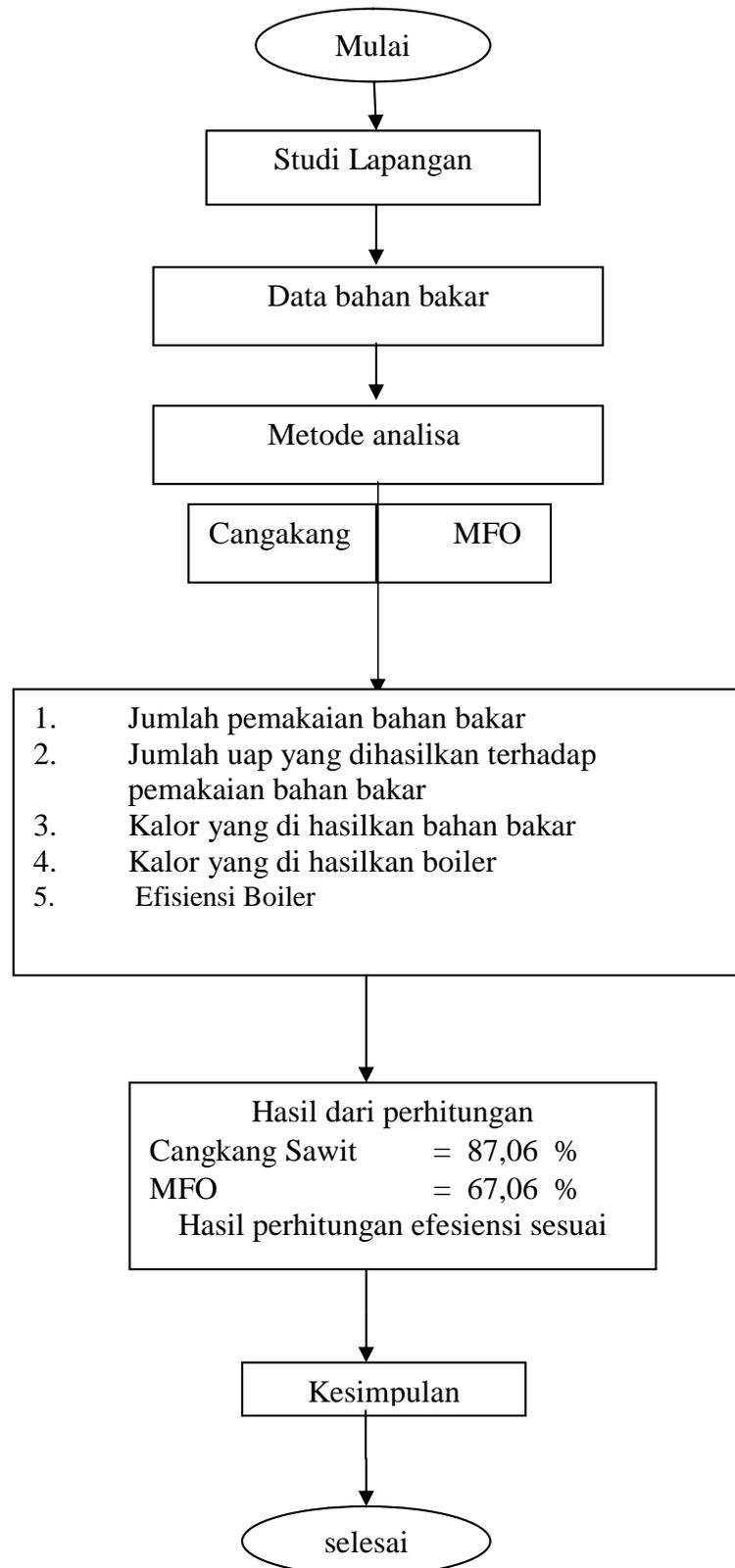
12. Kompresor Angin

Kompresor udara adalah mesin atau alat mekanik yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan atau memampatkan udara.



Gambar 3.12 Kompresor Angin

### 3.3 Diagram Alir Analisa



Gambar 3.1 Diagram Alir

### 3.4 Langkah – langkah pengoperasian ketel uap

1. Sebelum kita mengoperasikan ketel uap yang paling utama cek level air pada steam drum pastikan level air di atas 50% dan Hidupkan Pompa air (feed pump).
2. Buka venting udara Steam Drum
3. Start Peralatan Pendukung Pengoperasian Ketel uap seperti IDF, FDF, SAF, dan Kompresor angin .
4. Slow Firing dapur (furnace ) Ketel Uap menggunakan kayu sebagai pembakaran pertama
5. Setelah itu masukan bahan bakar secara manual .
6. Atur Tekanan ketel uap 10 – 13 Bar .
7. Selanjutnya ubah settingan Bahan Bakar yang mana sebelumnya digunakan dengan sistem Manual kemudian menjadi sistem auto.
8. Jika Tekanan Sudah mencapai 10-13 Bar , Segera tutup Venting udara steam drum dan Buka main valve untuk supply steam/uap ke plant area atau produksi .
9. Kemudian Cek pemakaian uap/Steam Flow ketel uap pada kontrol panel ketel uap.

## BAB 4

### Hasil dan Pembahasan

#### 4.1 Langkah-langkah Pengoperasian Ketel uap

1. Sebelum kita mengoperasikan ketel uap yang paling utama cek level air pada steam drum pastikan level air di atas 50% dan Hidupkan Pompa air (feed pump).



Gambar 4.1 level air ( sight glass )

2. Buka valve venting udara Steam Drum



Gambar 4.2 Valve Venting Udara

3. Start Peralatan Pendukung Pengoperasian Ketel uap seperti IDF, FDF, SAF, dan Kompresor angin.



Gambar 4.3 IDF, FDF, SAF, dan Kompresor Angin

4. Slow Firing dapur (furnace ) Ketel Uap menggunakan kayu sebagai pembakaran pertama .



Gambar 4.4 Slow Firing ketel uap

5. Setelah itu masukan bahan bakar secara manual .



Gambar 4.5 Settingan Manual Bahan Bakar

6. Atur Tekanan ketel uap 10 – 13 Bar .



Gambar 4.6 Sistem kontrol Tekanan Ketel uap

7. Selanjutnya ubah settingan Bahan Bakar yang mana sebelumnya digunakan dengan sistem Manual kemudian menjadi sistem auto.



Gambar 4.7 Settingan Auto Bahan Bakar

8. Jika Tekanan Sudah mencapai 10-13 Bar , Segera tutup Venting udara steam drum dan Buka main valve untuk supply steam/uap ke plant area atau produksi .
9. Kemudian Cek pemakaian uap/Steam Flow ketel uap pada kontrol panel ketel uap

STEAM PRESSURE <b>13.97</b> BAR	WATER FLOW <b>12.52</b> TON/HR
STEAM FLOW <b>9.98</b> TON/HR	FURNACE DRAUGHT <b>-1.6</b> MM/H2O

Gambar 4.8 Kontrol panel Ketel Uap

## 4.2 Pengolahan Data

- Cangkang sawit

$$\text{Nilai kalori netto, ( NCV )} = (2.770,544 \text{ kkal} - 3.881,15 \text{ kkal}) \\ 3100 \text{ kkal yang di pakai}$$

$$\text{Debit cangkang, ( } Q_{\text{Cangkang}} \text{ )} = 1,8 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Sfisifik Gravity} = 1,2$$

(sumber: jurnal Gideon Rewin Napitupulu, Eddy Warman, USU)

- MFO (Marine Fuel Oil)

$$\text{Nilai kalori netto, ( NCV )} = 10000 \text{ kkal/kg}$$

$$\text{Debit MFO, ( } Q_{\text{MFO}} \text{ )} = 0,80 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Sfisifik Gravity} = 0,94$$

(sumber: [www. Nilai kalori MFO/keretauap-ku4.blogspot.com](http://www.Nilai%20kalori%20MFO/keretauap-ku4.blogspot.com))

- Air masuk ke boiler dengan tekanan,  $P_1 = P_{in} = 9,50 \text{ kg/cm}^2 = 0,93 \text{ Mpa}$
- Tekanan air masuk ke dalam Ketel Uap,  $P_{out} = P_{out} = 9,25 \text{ kg/cm}^2 = 0,9 \text{ Mpa}$
- Debit air yang masuk kedalam Ketel Uap,  $Q_{air} = 9 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Kapasitas produksi boiler 13 Ton uap/jam  $S = 13000 \text{ kg uap/jam}$
- Temperatur air masuk untuk boiler,  $100^\circ\text{C} = 273 + 100 = 373 \text{ K}$
- Air keluar dari boiler dengan kondisi uap jenuh pada tekanan  $P_2 = 0,9 \text{ MPa}$
- Kondisi air pada tekanan  $P_2$  maka berdasarkan tabel tekanan didapatkan

data sebagai berikut :

$$H_2 = 2773,6 \text{ kJ/kg (Interpolasi dari tabel Tekanan)}$$

$$T_2 = 273 + 160 = 433 \text{ K}$$

Kondisi sifat-sifat air pada temperatur  $100^\circ\text{C}$

1. Massa jenis air ( $r_{air}$ ) =  $1000 \text{ kg/m}^3$  (Tabel massa jenis)
2. Kapasitas panas pada tekanan konstan (C) =  $4,1964 \times 10^3 \text{ J/kg.K}$
3. Volume spesifik air ( $V_a = V_f$ ) =  $1,044 \times 10^{-3}$  (Tabel B1b)
4. Entalpy spesifik air ( $h_a = h_f$ ) =  $419,0 \text{ KJ/kg}$  (Tabel B1b)
5. Tekanan air, (Pair masuk pompa) =  $9 \text{ kg/cm}^2 = 0,8 \text{ Mpa}$

## 1. Metode Analisa

Metode analisa yang di lakukan meliputi :

- Jumlah pemakaian bahan bakar/jam
- Jumlah uap yang di hasilkan terhadap pemakaian bahan bakar
- Perhitungan kalor yang di hasilkan boiler
- Perhitungan kalor yang di hasilkan bahan bakar
- Efisiensi boiler

### 4.2.1 Banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan Boiler

Air masuk ke boiler dengan kondisi,  $P_1 = 0,95 \text{ Mpa}$ ,  $T_1 = 373 \text{ K}$

$$h_1 = h_f + V_f (P_1 - P_a)$$

$$h_1 = 419,0 \text{ kJ/kg} + 1,044 \times 10^{-3} (0,95 - 0,8) \cdot 10^3 \text{ Kpa}$$

$$h_1 = 419,15 \text{ kJ/kg}$$

Air keluar dari boiler dengan kondisi uap jenuh pada tekanan  $P_2 = 0,9 \text{ Mpa}$

Kondisi air pada tekanan  $P_2$  maka berdasarkan tabel tekanan didapatkan data sebagai berikut :

$$h_2 = 2773,6 \text{ kJ/kg} \text{ (Interpolasi dari tabel B1)}$$

$$T_2 = 273 + 160 = 433 \text{ K}$$

$$Q_{in} = (h_2 - h_1)$$

$$Q_{in} = 13000 \text{ kg uap/jam} (2773,6 \text{ kJ/kg} - 419,15 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_{in} = 30607850 \text{ kJ/jam} = 8,502 \text{ MW}$$

#### 4.2.2 Jumlah pembakaran Bahan bakar ( $B_e$ )

##### 1. Cangkang

$$B_e = \frac{Q}{N_{kb}}$$

$$B_e = \frac{30607850 \text{ kJ} / \text{jam}}{3100 \text{ kkal} / \text{kg} \times 4,187 \text{ J} / \text{kal}}$$

$$B_e = 621,4 \text{ kg bahan bakar/jam}$$

##### 2. MFO

$$B_e = \frac{Q}{N_{kb}}$$

$$B_e = \frac{30607850 \text{ kJ} / \text{jam}}{10000 \text{ kkal} / \text{kg} \times 4,187 \text{ J} / \text{kal}}$$

$$B_e = 123,7 \text{ kg bahan bakar/jam}$$

#### 4.2.3 Perbandingan Jumlah Uap Dihasilkan Terhadap Pemakaian Bahan Bakar (E)

- Cangkang

$$E = \frac{S}{B_e}$$

$$E = \frac{130000 \text{ kg} / \text{jam}}{621,4 \text{ kg bahan bakar} / \text{jam}}$$

$$E = 20,92 \text{ kg uap/bahan bakar}$$

- MFO

$$E = \frac{S}{B_e}$$

$$E = \frac{130000 \text{ kg} / \text{jam}}{105,09 \text{ kg bahan bakar} / \text{jam}} = 105,09 \text{ kg uap/bahan bakar}$$

#### 4.2.4 Perhitungan Kalor Yang di Hasilkan Ketel Uap

Di Asumsi  $r_{air}$  Pada Temperatur 100°C

$$\square = \frac{r_{air}}{3600} \times Q_{air}$$

$$\square = \frac{974,08 \text{ kg} / 9 \text{ m}^3 / \text{jam}}{3600}$$

$$\square = 2,4 \text{ kg/detik}$$

$$Q_{Boiler} = \square (h_2 - h_1)$$

$$Q_{Boiler} = 2,4 (2773,6 \text{ kJ/kg} - 419,15 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_{Boiler} = 5650,68 \text{ kW}$$

#### 4.2.5 Perhitungan Kalor yang dihasilkan Bahan Bakar

Cangkang:

Data-data:

Spesifik gravity ( $SG$ ) = 1,2

Debit cangkang ( $Q_{cangkang}$ ) = 1,8 m<sup>3</sup>/jam

Nilai Kalor bawah ( $N_{kb}$ ) = 3100 kkal/kg

Massa jenis air ( $r_{air}$ ) pada kondisi ruang 27°C + 273 = 300 K

$$r = 1 \text{ atm} \rightarrow r_{air} = 998,08 \text{ kg/m}^3$$

$$\square = r_{cangkang} \times Q_{cangkang}$$

$$\square = (r_{air} \times SG_{cangkang}) Q_{cangkang}$$

$$\square = (998,08 \text{ kg/m}^3 \times 1,2) 1,8 \text{ m}^3/\text{jam} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ dtk}}$$

$$\square = 0,5 \text{ kg/detik}$$

$$N_{kb} = 3100 \text{ kkal/kg} \times 4,187$$

$$= 12979,7 \text{ Kj/kg}$$

$$Q_{\text{bahanbakar}} = \square \times N_{kb}$$

$$= 0,5 \text{ kg/detik} \times 12979,7 \text{ Kj/kg} = 6489,85 \text{ kW}$$

MFO :

Data-data:

$$\text{Spesifik gravity (SG)} = 0,9$$

$$\text{Debit cangkang (} Q_{MFO} \text{)} = 0,40 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Nilai Kalor bawah (} N_{kb} \text{)} = 10000 \text{ kkal/kg}$$

$$\text{Massa jenis air (} r_{\text{air}} \text{)} \text{ pada kondisi ruang } 27^\circ\text{C} + 273 = 300 \text{ K}$$

$$r = 1 \text{ atm} \rightarrow r_{\text{air}} = 998,04 \text{ kg/m}^3$$

$$\square = r_{MFO} \times Q_{MFO}$$

$$\square = (r_{\text{air}} \times SG_{MFO}) Q_{MFO}$$

$$\square = (998,08 \text{ kg/m}^3 \times 0,9) 0,80 \text{ m}^3 \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ dtk}}$$

$$\square = 0,199 \text{ kg/detik}$$

$$N_{kb} = 10000 \text{ kkal/kg} \times 4,187 \text{ Kj/kg}$$

$$= 41870 \text{ Kj/kg}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{bahanbakar}} &= \square \times N_{kb} \\
 &= 0,199 \text{ kg/detik} \times 41870 \text{ Kj/kg} \\
 &= 8332,13 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.6 Efisiensi Ketel Uap

Cangkang:

$$\begin{aligned}
 h_{\text{boiler}} &= \frac{Q_{\text{boiler}}}{Q_{\text{bahanbakar}}} \times 100\% \\
 h_{\text{boiler}} &= \frac{5650,68 \text{ kW}}{6489,85 \text{ kW}} \times 100\% \\
 h_{\text{boiler}} &= 87,06\%
 \end{aligned}$$

MFO :

$$\begin{aligned}
 h_{\text{boiler}} &= \frac{Q_{\text{boiler}}}{Q_{\text{bahanbakar}}} \times 100\% \\
 h_{\text{boiler}} &= \frac{5650,68 \text{ kW}}{8332,13 \text{ kW}} \times 100\% \\
 h_{\text{boiler}} &= 67,06\%
 \end{aligned}$$

Tabel 4.1. Hasil Perhitungan Efisiensi Bahan Bakar Boiler Berkapasitas 13 Uap Ton/Per Jam Dengan Menggunakan Bahan Bakar Cangkang Dan MFO

NO	Perhitungan Ketel Uap	<i>Cangkang</i>	<i>MFO</i>
1	Jumlah Pemakaian Bahan Bakar ( $B_e$ )	621,4 kgbahanbakar/jam	123,7 kgbahanbakar/jam
2	Perbandingan jumlah uap yang dihasilkan bahan bakar (E)	20,92 kguap/bahanbakar	105,09 kgbahanbakar/jam
3	Kalor yang di hasilkan Boiler ( $Q_{Boiler}$ )	5650,68 kW	5650,68 kW
4	Kalor yang dihasilkan bahan bakar ( $Q_{bahanbakar}$ )	6489,68 kW	8332,13 kW
5	Efisiensi Bahan Bakar	87,06 %	67,06 %

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka di peroleh efisiensi boiler yaitu sebesar 87,06% dengan pemakain bahan bakar cangkang sebesar 621,4 kg bahan bakar/jam sedangkan dengan pemakaian bahan bakar MFO sebesar 123,7 kg bahan bakar/jam diperoleh efisiensi boiler sebesar 67,06%.

**BAB 5**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**

**5.1 Kesimpulan**

Hasil dari pengolahan data :

1. Jumlah pembakaran Bahan bakar (  $Be$  )
  - Cangkang  
 $Be = 621,4$  kg bahan bakar/jam
  - MFO  
 $Be = 123,7$  kgbahanbakar/jam
2. Perbandingan Jumlah Uap Dihasilkan Terhadap Pemakaian Bahan Bakar (E).
  - Cangkang  
 $E = 20,92$  kg uap/bahan bakar
  - MFO  
 $E = 105,09$  kg uap/bahan bakar
3. Perhitungan Kalor Yang di Hasilkan Boiler
  - Di Amsumsi  $r_{air}$  Pada Temperatur  $100^{\circ}\text{C}$   
 $\square = 2,4$  kg/detik  
 $Q_{Boiler} = 5650,68$  kW
4. Perhitungan Kalor yang dihasilkan Bahan Bakar
  - Cangkang  
 $\square = 0,5$  kg/detik  
 $N_{kb} = 12979,7$  Kj/kg  
 $Q_{bahanbakar} = 6489,85$  kW
  - MFO  
 $\square = 0,199$  kg/detik  
 $N_{kb} = 41870$  Kj/kg  
 $Q_{bahanbakar} = 8332,13$  kW

## 5. Efisiensi Boiler

- Cangkang

$$h_{boiler} = 87,06 \%$$

- MFO

$$h_{boiler} = 67,06 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa dengan penggunaan bahan bakar Cangkang Sawit mempunyai nilai efisiensi yang lebih tinggi yaitu rata-rata 87,06 % daripada bahan bakar MFO yang mempunyai nilai efisiensi rata-rata 67,06 % , sehingga kinerja mesin Ketel uap berbahan bakar Cangkang Sawit lebih baik daripada mesin Ketel Uap berbahan bakar MFO.

### 5.2 Saran

Penulis menyarankan agar untuk lebih meningkatkan lagi efisiensi kerja mesin boiler tersebut adalah dengan melakukan pengolahan air umpan boiler, karena memproduksi uap panas yang berkualitas salah satunya tergantung pada pengolahan air yang benar untuk mengendalikan kemurnian uap panas, endapan dan korosi walaupun akan ada biaya lebih. Dan juga harus dilakukan pengontrolan dan perawatan yang rutin terhadap komponen-komponen mesin boiler tersebut terutama pada komponen yang terkait dalam meningkatkan efisiensi kerja mesin.

## Daftar Pustaka

- AkbarKelana .2018. *Analisa Efisiensi Bahan Bakar Pada Boiler Pipa Api*, di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
- Djoko Setyardjo MJ.2014. *Pembahasan Lebih Lanjut Tentang Ketel Uap*, Pradya Paramita, Jakarta.\
- Gideon Rewin Napitupulu, Eddy Warman.2016. *Studi Kelayakan Ekonomis PLTU Berbahan Bakar Fiber Dan Cangkang Kelapa Sawit*” USU: Medan.
- Harahap Filino, DR.MSc.Ir, 1996, “*Termodinamika Teknik Edisi Kedua*” Jakarta: Erlangga.
- Ir. M.J Djokosetyardjo, 1989, *ketel uap* , PT. Pradnya Paramita, jakarta.
- J.P Holman, 2010, “*Heat Transfer Tenth Edition* ” , New York : The Mc.Graw Hills Companies, Inc.
- Koestoer, Raldi Artono, 2002, *Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik*.Ed.1, Jakarta : Salemba Teknika.
- Roswati Nurhasannah, .2006, *Perbandingan Efisiensi Boiler Awal Operasi dan Setelah Overhaul Terakhir* di Unit 5 PLTU, Suralaya
- Sutikno, D., Soenoko, R., Pratikto, P., PT, F. P., & Nur Cahyo, P. M. (2011). *Study On Pressure Distribution In The Blade Passage Of The Francis Turbine*. *Rekayasa Mesin Vol. 2 No.2*, 154-158.
- Sumber: [www. Nilai kalori MFO/ keretauap-ku4.blogspot.com](http://www.Nilai_kalori_MFO/keretauap-ku4.blogspot.com)

Tabel B.1b Berbagai Sifat H<sub>2</sub>O jenuh- Tabel tekanan (SD) (Lanjutan)

P, Mpa	T, °C	Specific volume m <sup>3</sup> /kg		Internal energy, kJ/kg		Enthalpy kJ/kg		Entropy kJ/kg.K			
		Sat	Sat	Sat	Sat	Sat	hg	Sat	Sat		
0,16	113,3	0,00105	1,091	475,2	2521,8	475,3	2221,2	2696,5	1,4553	5,7572	7,2025
0,18	116,9	0,00106	0,9775	490,5	2525,9	490,7	2211,1	2701,8	1,4948	5,6683	7,1631
0,2	120,2	0,00106	0,8857	504,5	2529,5	504,7	2201,9	2706,6	1,5305	5,5975	7,1280
0,3	133,5	0,00107	0,6058	561,1	2543,6	561,5	2163,8	2725,3	1,6722	5,3205	6,9927
0,4	143,6	0,00108	0,4625	604,3	2553,6	604,7	2133,8	2738,5	1,7770	5,1197	6,8967
0,6	158,9	0,0011	0,3157	669,9	2567,4	670,6	2086,2	2756,8	1,9316	4,8293	6,7609
0,8	170,4	0,00112	0,2404	720,2	2576,8	721,1	2048,0	2769,1	2,0466	4,6170	6,6636
1	179,9	0,00113	0,1944	761,7	2583,6	762,8	2015,3	2778,1	2,1391	4,4482	6,5873
1,2	188,0	0,00114	0,1633	797,3	2588,8	798,6	1986,2	2784,8	2,2170	4,3072	6,5242
1,4	195,1	0,001149	0,1408	828,7	2592,8	830,8	1959,7	2790,0	2,2847	4,1854	6,4701
1,6	201,4	0,001159	0,1238	856,9	2596,0	858,8	1935,2	2794,0	2,3446	4,0780	6,4226
1,8	207,2	0,001168	0,1104	882,7	2598,4	884,8	1912,3	2797,1	2,3986	3,9816	6,3802
2	212,4	0,00118	0,09963	906,4	2600,3	908,8	1890,7	2799,5	2,4478	3,8939	6,3417
3	233,9	0,00122	0,06668	1004,8	2604,1	1008,4	1795,7	2804,1	2,6462	3,5416	6,1878
4	250,4	0,00125	0,04978	1082,3	2602,3	1087,3	1714,1	2804,4	2,7970	3,2739	6,0709
6	275,6	0,00132	0,03244	1205,4	2589,7	1213,3	1571,0	2784,3	3,0273	2,8627	5,8900
8	295,1	0,00138	0,02352	1305,6	2569,8	1316,6	1441,4	2758,0	3,2075	2,5365	5,7440
9	303,4	0,00142	0,02048	1350,5	2557,8	1363,3	1378,8	2742,1	3,2865	2,3916	5,6781
10	311,1	0,00145	0,01803	1393,0	2544,4	1407,6	1317,1	2724,1	3,3603	2,2546	5,6149
12	324,8	0,00153	0,01426	1472,9	2513,7	1491,3	1193,6	2684,9	3,4970	1,9963	5,4933
14	336,8	0,001611	0,01149	1548,6	2476,8	1571,1	1066,5	2637,6	3,6240	1,7486	5,3726
16	347,4	0,00171	0,009307	1622,7	2431,8	1650,0	930,7	2580,7	3,7468	1,4996	5,2464
18	357,1	0,001840	0,007491	1698,9	2374,4	1732,0	777,2	2509,2	3,8722	1,2332	5,1054
20	365,8	0,00204	0,005836	1785,6	2293,2	1826,3	583,7	2410,0	4,0146	0,9135	4,9281
22,088	374,136	0,003155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3	0,0	2099,3	4,4305	0,0000	4,4305

Tabel Temperatur Berbagai Sifat H<sub>2</sub>O Jenuh

Temp, T°C	P, Mpa	Specific volume m <sup>3</sup> /kg		Internal energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg		Entropy kJ/kg·K				
		Sat liquid Vf	Sat vapor Vg	Sat liquid Uf	Evap., Ufg	Sat vapor Ug	Sat liquid hf	Evap., hfg	Sat vapor hg	Sat liquid Sf	Evap., Sfg	Sat vapor Sg
0.01	0,006117	0,001000	206,00	0,000	2374,9	2374,9	0,001	2500,9	2500,9	0,0000	91,556	9,1536
5	0,008725	0,001000	147,03	21,019	2360,8	2381,8	21,020	2489,1	2510,1	0,0763	8,9487	9,0249
10	0,012281	0,001000	106,32	42,020	2346,6	2388,7	42,022	2477,2	2519,2	0,1511	8,7488	8,8999
15	0,017057	0,001001	77,885	62,980	2332,5	2395,5	62,982	2465,4	2528,5	0,2245	8,5559	8,7803
20	0,023392	0,001002	57,762	83,913	2318,4	2402,3	83,915	2453,5	2537,4	0,2965	8,3696	8,6661
25	0,031698	0,001003	43,340	104,83	2304,3	2409,1	104,83	2441,7	2546,5	0,3672	8,1895	8,5567
30	0,042469	0,001004	32,879	125,73	2290,2	2415,9	125,74	2429,8	2555,6	0,4368	8,015	8,4530
35	0,056291	0,001006	25,205	146,63	2276,0	2422,7	146,64	2417,9	2564,6	0,5051	7,8466	8,3517
40	0,073851	0,001008	19,515	167,53	2261,9	2429,4	167,53	2406,0	2573,5	0,5724	7,6832	8,2536
45	0,095953	0,001010	15,251	188,43	2247,7	2436,1	188,44	2394,0	2582,4	0,6386	7,5247	8,1633
50	0,12352	0,001012	12,026	209,33	2233,4	2442,7	209,34	2382,0	2591,3	0,7038	7,3710	8,0748
55	0,15763	0,001015	9,5639	230,24	2219,1	2449,3	230,26	2369,8	2600,1	0,7680	7,2218	7,9888
60	0,19947	0,001017	7,6670	251,16	2204,7	2455,9	251,18	2357,7	2608,8	0,8313	7,0769	7,9082
65	0,25043	0,001020	6,1935	272,09	2190,3	2462,4	272,12	2345,4	2617,5	0,8937	6,9360	7,8296
70	0,31202	0,001023	5,0396	293,04	2175,8	2468,9	293,07	2333,0	2626,1	0,9551	6,7989	7,7540
75	0,38597	0,001026	4,1291	313,99	2161,3	2475,3	314,03	2320,6	2634,6	1,0158	6,6655	7,6812
80	0,47416	0,001029	3,4053	334,97	2146,6	2481,6	335,02	2308,0	2643,0	1,0756	6,5355	7,6111
85	0,57868	0,001032	2,8261	355,96	2131,9	2487,8	356,02	2295,3	2651,4	1,1346	6,4089	7,5435
90	0,70183	0,001036	2,3593	376,97	2117,0	2494,0	377,04	2282,5	2659,6	1,1929	6,2853	7,4782
95	0,84609	0,001040	1,9808	398,00	2102,0	2500,1	398,09	2269,6	2667,6	1,2504	6,1647	7,4131
100	1,0142	0,001043	1,6720	419,06	2087,0	2506,0	419,17	2256,4	2675,6	1,3072	6,0470	7,3542
105	1,2090	0,001047	1,4186	440,15	2071,8	2511,9	440,28	2243,1	2683,4	1,3634	5,9319	7,2932
110	1,4338	0,001052	1,2094	461,27	2056,4	2517,7	461,42	2229,7	2691,1	1,4188	5,8193	7,2382
115	1,6918	0,001056	1,0360	482,42	2040,9	2523,3	482,59	2216,0	2698,6	1,4737	5,7092	7,1839
120	1,9867	0,001060	0,89133	503,60	2025,3	2528,9	503,81	2202,1	2706,0	1,5279	5,6013	7,1292

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### A. DATA PRIBADI

1. Nama : Ikhsan Maulana
2. Jenis Kelamin : Laki-Laki
3. Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 05 Agustus 1994
4. Kewarganegaraan : Indonesia
5. Status : Belum Menikah
6. Agama : Islam
7. Alamat : Jln. Violet 2 Blok I Griya III Martubung
8. No. Hp : 087869188894
9. Email : [ikhsanmaulana1994@gmail.com](mailto:ikhsanmaulana1994@gmail.com)

### B. RIWAYAT PENDIDIKAN

NO	PENDIDIKAN FORMAL	TAHUN
1	SD NEGERI 068475 MEDAN	2001 - 2007
2	SMP 2 AL-WASHLIYAH 30, MEDAN	2007 - 2010
3	SMA LAKSAMANA MARTADINATA, MEDAN	2010 - 2013
4	TEKNIK MESIN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA	2015 - 2019