

**ANALISA UNJUK KERJA BOILER KAPASITAS 45 TON
UAP/JAM DI PT. ROHUL SAWIT INDUSTRI**

TUGAS AKHIR

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

OLEH :

**SUWANDI
173310167**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2022**

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : SUWANDI
NPM : 17.331.0167
PRODI : TEKNIK MESIN

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang saya lakukan untuk Tugas Akhir dengan judul "Analisa Unjuk Kerja Boiler Kapasitas 45 Ton Uap/Jam Di PT. Rohul Sawit Industri" yang diajukan guna melengkapi syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Adalah merupakan hasil penelitian dan karya ilmiah saya sendiri dengan bantuan dosen pembimbing dan bukan merupakan tiruan atau dari Tugas Akhir yang telah dipublikasikan dan atau pernah digunakan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Islam Riau (UIR) maupun Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali pada bagian yang sumber informasinya telah dicantumkan sebagaimana mestinya.

Pekanbaru, 19 Juli 2022



SUWANDI
17.331.0167

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Personal

Nama Ayah : Zulkifli
Nama Ibu : Janison
Nama Lengkap : Suwandi
NPM : 17.331.0167
Tempat/Tanggal Lahir : Ujungbatu, 06 Juni 1997
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Jln. Kaswari, Ujungbatu, Kab. Rokan Hulu, Riau
Telp/wa : 085271069936
Email : suwandiengineer2@gmail.com
Motto : Saling asah, asih dan asuh agar hidup menjadi tidak sia-sia

Pendidikan

Sekolah Dasar : SD N 003 Ujungbatu, Kab. Rohul, Riau
Sekolah Menengah Pertama : SMP N 5 Ujungbatu, Kab. Rohul, Riau
Sekolah Menengah Atas : SMK Terpadu, Ujungbatu, Rohul, Riau
Perguruan Tinggi : Universitas Islam Riau, Pekanbaru, Riau

Tugas Akhir

Judul : Analisa Unjuk Kerja Boiler Kapasitas 45 Ton Uap/Jam Di PT. Rohul Sawit Industri
Tempat Penelitian : PT. Rohul Sawit Industri, Kab. Rohul, Riau
Tanggal Sidang : 18 Juli 2022

ANALISA UNJUK KERJA BOILER KAPASITAS 45 TON UAP/JAM DI PT. ROHUL SAWIT INDUSTRI

Suwandi¹, Sehat Abdi Saragih².

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

Email : Suwandi@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Salah satu mesin yang berperan penting dalam proses produksi minyak kelapa sawit adalah *Boiler*. *Boiler* (Ketel uap) didefinisikan sebagai alat yang dapat menghasilkan uap, untuk digunakan diluar alat tersebut. Uap bertemperatur dan bertekanan tinggi diperoleh dari proses pemanasan air hingga mendidih. Uap inilah yang menjadi sumber tenaga dan sumber uap pada proses pengolahan di pabrik kelapa sawit. Selain sebagai penggerak turbin uap, uap dari *boiler* juga digunakan di stasiun *sterillizer* (tempat perebusan TBS). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi unjuk kerja *boiler* pada awal operasi dan pada saat ini serta perbandingan unjuk kerja *boiler* pada awal operasi dengan saat ini. Metode yang penulis gunakan adalah metode *observasi* / atau pengamatan secara langsung ke lapangan untuk memperoleh data kemudian dilakukan analisa sehingga mendapatkan parameter unjuk kerja *boiler*. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa kebutuhan bahan bakar pada awal operasi sebesar 1374,46 kg/jam, sedangkan kebutuhan bahan bakar pada saat ini yaitu sebesar 1235,87 kg/jam, terdapat penurunan sebesar 138,59 kg/jam. Penurunan kebutuhan bahan bakar tersebut disebabkan oleh penurunan aliran uap (*steam flow*), semakin besar *steam flow* maka nilai dari kebutuhan bahan bakar akan semakin besar, dan juga sebaliknya semakin kecil *steam flow* maka akan semakin kecil pula kebutuhan bahan bakar pada *boiler*.

Kata kunci : *Boiler*, *Steam Flow*, Unjuk Kerja, Pabrik Kelapa Sawit.

1. Mahasiswa
2. Dosen Pembimbing

ANALYSIS PERFORMANCE OF BOILER CAPACITY 45 TON OF STEAM /
HOUR AT PT. ROHUL SAWIT INDUSTRI

Suwandi¹, Sehat Abdi Saragih².

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Islamic
University of Riau

ABSTRACT

One of the machines that play an important role in the palm oil production process is the Boiler. Boiler (steam boiler) is defined as a device that can produce steam, for use outside the device. Steam at high temperature and pressure is obtained from the process of heating water to boiling. This steam is the source of power and the source of steam in the processing at the palm oil mill. Apart from driving the steam turbine, steam from the boiler is also used at the sterilizer station (where the Tbs is boiling). This research was conducted to determine the condition of boiler performance at this time and at the beginning of operation and to compare boiler performance at this time with the beginning of operation. The method that the author uses is the method of observation or direct observation to the field to obtain data then analysis is carried out to obtain boiler performance parameters. From the results of this study, it was found that the fuel requirement at the beginning of the operation was 1374.46 kg/hour, while the current fuel requirement was 1235.87 kg/hour, there was a decrease of 138.59 kg/hour. The decrease in fuel demand is caused by a decrease in steam flow, the greater the steam flow, the greater the value of the fuel requirement, and vice versa, the smaller the steam flow, the smaller the fuel requirement in the boiler.

Keywords: Boiler, Steam Flow, Performance, Palm Oil Mill.

1. College Student
2. Supervisor

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh

Alhamdulillahirobbil alamin. Segala puji ALLAH SWT, atas segala limpahan berupa rahmat, hidayah, inayah-Nya, serta kesehatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir. Shalawat beserta salam penulis ucapkan kepada junjungan alam yakni Nabi Besar Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia dari zaman jahiliah kepada zaman yang penuh cahaya dan ilmu pengetahuan seperti yang kita rasakan pada saat sekarang ini.

Tugas Akhir : “ **Analisa Unjuk Kerja Boiler Kapasitas 45 Ton Uap/Jam Di PT. Rohul Sawit Industri**” ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa bagaimana unjuk kerja boiler di lapangan. Disamping itu penulisan Tugas Akhir ini dilakukan oleh penulis untuk menyelesaikan mata kuliah Tugas Akhir sekaligus untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana Teknik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan. Hal ini disebabkan keterbatasan ide dan sumber pendukung untuk melengkapi Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, SH., MCL selaku Rektor Universitas Islam Riau beserta Bapak Dr. H. Syahendri, M. Si, Dr. Ir. H. Asrol, M. Ec, Ir. H. Rosyadi, M. Si selaku Wakil Rektor di Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Mursyidah, S. Si., M. Sc dan Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT, Ir. Akmar Efendi, S. Kom., M. Kom selaku Wakil Dekan I, II dan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Jhonni Rahman, B. Eng.,M. Eng.,PhD selaku Ketua Prodi Teknik Mesin dan Bapak Rafil Arizona, S. T.,M. Eng selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Riau.

5. Bapak Sehat Abdi Saragih, S. T.,M. T selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
6. Kedua Orang Tua penulis yang selalu memberikan dukungan jasmani dan rohani.
7. Teman-teman Teknik Mesin Universitas Islam Riau yang membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Harapan penulis semoga karya ilmiah ini dapat memberi manfaat kepada semua kalangan yang membutuhkan, baik dari kalangan akademis, maupun masyarakat luas pada umumnya.

Pekanbaru, 28 Maret 2022
penulis

Suwandi
NPM. 173310167

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR NOTASI.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sejarah Boiler.....	5
2.2 Definisi Boiler (Ketel Uap).....	6
2.3 Klasifikasi Boiler.....	6
2.4 Prinsip Kerja Boiler.....	11
2.5 Uap (<i>Steam</i>).....	12
2.6 Proses Pembentukan Uap (<i>Steam</i>).....	12
2.7 Komponen-komponen Boiler.....	14
2.8 Perpindahan Panas Pada Boiler.....	21

2.9 Siklus Rankine.....	22
2.10 Nilai Kalor Bahan Bakar.....	24
2.11 Udara Berlebih (<i>Excess Air</i>).....	27
2.12 Unjuk Kerja <i>Boiler</i>	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	32
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	33
3.3 Alat Dan Bahan.....	33
3.4 Prosedur Pengujian.....	38
3.5 Hasil Dan Pembahasan.....	40
3.6 Kesimpulan.....	40
3.7 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Unjuk Kerja Boiler Pada Awal Operasi.....	41
4.2 Unjuk Kerja Boiler Pada Saat ini.....	45
4.3 Perbandingan Unjuk Kerja Boiler Pada Awal Operasi Dengan Unjuk Kerja Boiler Pada Saat ini.....	50
BAB V PENUTUP.....	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ketel Pipa Api.....	7
Gambar 2.2 Ketel Pipa Air.....	7
Gambar 2.3 Ketel stasioner (<i>stationary boiler</i>).....	8
Gambar 2.4 Ketel Mobil (<i>Mobile Boiler</i>).....	8
Gambar 2.5 Sirkulasi air dan uap pada <i>boiler</i>	11
Gambar 2.6 Grafik Pembentukan Uap (<i>steam</i>).....	13
Gambar 2.7 Tungku Pengapian (<i>Furnace</i>).....	14
Gambar 2.8 <i>Steam</i> drum.....	15
Gambar 2.9 Pemanas Uap Lanjut (<i>Superheater</i>).....	15
Gambar 2.10 Pemanas Udara (<i>Air Heater</i>).....	16
Gambar 2.11 Pengumpul Abu (<i>Dust Collector</i>).....	16
Gambar 2.12 Lubang abu (<i>Ash Hopper</i>).....	17
Gambar 2.13 Katup Pengaman (<i>Safety Valve</i>).....	17
Gambar 2.14 Gelas Penduga (<i>Sight Glass</i>).....	18
Gambar 2.15 <i>Blowdown Continue</i>	18
Gambar 2.16 SFDF Dan FDF	19
Gambar 2.17 <i>Induced Draft Fan (IDF)</i>	19
Gambar 2.18 Pemanas Air (<i>Economizer</i>).....	20
Gambar 2.19 Cerobong Asap (<i>Chimney</i>).....	20
Gambar 2.20 Diagram Alir Siklus Rankine Sederhana.....	23

Gambar 2.21 Diagram T- s Siklus Rankine Sederhana.....	23
Gambar 2.22 Diagram Alir Siklus Rankine Dengan Satu Tingkat Ekstraksi.....	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	32
Gambar 3.2 PT. Rohul Sawit Industri.....	33
Gambar 3.3 <i>Boiler</i> Takuma	34
Gambar 3.4 Monitor <i>Pressure</i>	35
Gambar 3.5 Monitor <i>Temperatur</i>	35
Gambar 3.6 Monitor <i>Steam Flow</i>	36
Gambar 3.7 Monitor <i>Water Flow</i>	36
Gambar 3.8 <i>Water Level Gauge</i>	36
Gambar 3.9 Serabut (<i>Fibre</i>).....	37
Gambar 3.10 Cangkang (<i>Shell</i>).....	37
Gambar 3.11 Sumber Air Umpan <i>Boiler</i>	38

DAFTAR NOTASI

Parameter	Simbol	Satuan
Tekanan	P	kg/m ²
Temperatur	T	°C
Enthalpy	H	J
Kapasitas Boiler	Q_b	kg/jam
Efisiensi Boiler	$\eta_b / \eta / \eta$	%
Perbedaan enthalpy uap dan enthalpy air	$\Delta \text{Enthalpi} / \Delta h$	kJ/kg
Entalpi uap jenuh	h_g	kJ/kg _{uap}
Entalpi air umpan	h_f	kJ/kg _{air}
Jumlah bahan bakar yang digunakan	q	kg/jam
<i>Low heating value</i>	LHV	kJ/kg
<i>High Heating Value</i>	HHV	kJ/kg
Kebutuhan Bahan Bakar	W_{fuel}	kg/jam
Massa Uap Yang Dihasilkan Ketel (<i>Steam Flow</i>)	m_u	kg/jam
Entalpi Uap Superheater	h_2	kJ/kg
Entalpi Uap Saturated	h_1	kJ/kg
Kalor Pembakaran	Q_p	kg/jam
Panas Yang Diserap Dalam Dapur	Q_f	kJ/kg
Efisiensi Dapur	n_f	%
Panas Yang Dibawa Gas Asap	Q_g	kJ/jam
Volume Gas Asap	V_g	nm ³ /kg

Panas Jenis Gas	C_p	$\text{kJ}/\text{nm}^3\text{°C}$
Suhu Gas Asap	T_g	°C
Jumlah Udara Teoritis	U_{ov}	nm^3
Jumlah Udara Aktual	$U_{ov}(\text{aktual})$	nm^3
Kebutuhan Udara sesungguhnya	$U_{ov}(\text{total})$	nm^3



Dokumen ini adalah Arsip Milik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara pengeskor kelapa sawit terbesar di dunia. Ekspor pada tahun 2017 mengalami kenaikan 26% menjadikan kelapa sawit penyumbang devisa Negara sebesar USD 23 Miliar yang setara dengan Rp 300 Triliun. Nilai ekspor kelapa sawit tahun 2020 mencapai USD 22,97% setara dengan Rp 320,5 Triliun. Pasar ekspor kelapa sawit Indonesia telah merambah ke Negara besar seperti China, Uni Eropa dan India, (Alfianisa, 2021).

Penggunaan minyak kelapa sawit di Nusantara semakin meningkat seiring dengan perkembangan industri yang menggunakan minyak kelapa sawit sebagai bahan pokok untuk mencapai suatu produk. Minyak kelapa sawit dominan diproses menjadi minyak makan, selain dari itu juga digunakan sebagai bahan-bahan pendukung dari beberapa industri kosmetik. Meningkatnya penggunaan minyak kelapa sawit berpengaruh terhadap produksi yang juga semakin meningkat. Badan Pusat Statistik mencatat kenaikan produksi kelapa sawit pada tahun 2016 – 2020 sebesar 52,2 %. (BPS, 2021).

Pabrik Kelapa Sawit (PKS) merupakan tempat pengolahan buah kelapa sawit dari Tandan Buah Segar (TBS) menjadi produk *Crude Palm Oil (CPO)* & Palm Kernel. Proses produksi CPO meliputi pemisahan buah sawit dari tandannya, ekstraksi minyak dari buah sawit, pemurnian minyak sawit kasar dan penyimpanan, (Darma, et al., 2021). Tercapainya hasil pengolahan yang memumpuni tergantung dari beberapa aspek manajemen pabrik itu sendiri, selain dari jumlah bahan baku yaitu buah kelapa sawit yang memadai, kinerja dari mesin-mesin produksi sangat perlu diperhatikan untuk mencapai target tercapainya proses pengolahan.

Salah satu mesin yang berperan penting dalam proses produksi minyak kelapa sawit adalah mesin *Boiler*. Mesin *Boiler* (Ketel uap) didefinisikan sebagai alat yang dapat menghasilkan uap, untuk digunakan diluar alat tersebut, (Haryadi, 2010). Uap bertemperatur dan bertekanan tinggi diperoleh dari proses pemanasan air hingga mendidih. Uap inilah yang menjadi sumber tenaga dan sumber uap pada

proses pengolahan di pabrik kelapa sawit. Selain sebagai penggerak turbin, uap dari *boiler* juga digunakan di stasiun *sterillizer* (tempat perebusan TBS). Sehingga, perlu adanya pemeliharaan mesin *boiler* agar *output* pabrik tetap tercapai sesuai target tanpa penurunan kualitas. Salah satunya dengan cara melakukan analisa terhadap unjuk kerja *boiler*.

Junaidi dan Nasution (2011), pernah melakukan penelitian tentang “Analisa Unjuk Kerja *Boiler* Tipe Pipa Air Melalui Gas Buang”. Hasilnya, dapat disimpulkan bahwa turun naiknya efisiensi *boiler* dipengaruhi oleh kualitas bahan bakar dan proses perpindahan kalor yang terjadi pada pipa-pipa riser. Dari perhitungan efisiensi *boiler* dengan menggunakan metoda tak langsung atau metoda kerugian kalor yaitu sebesar 62,5582 %.

Penelitian yang berjudul “Studi Unjuk Kerja *Boiler* Kapasitas 18 Ton/Jam Di Lingkungan Pabrik Kelapa Sawit” juga membahas tentang efisiensi mesin *boiler*. Berdasarkan penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa besarnya efisiensi *boiler* adalah sebesar 86,501 %, untuk kerugian panas (*thermal losses*) yang terjadi pada *boiler* karena radiasi yang terjadi pada instalasi ketel sebesar 287.079 kkal/jam, (Yuliani, et al., 2017).

PT. Rohul Sawit Industri merupakan pabrik kelapa sawit berkapasitas 90 ton tbs/jam yang terletak di desa Sukadamai, Kecamatan Ujungbatu, Kabupaten Rokan Hulu-Riau. Pabrik ini telah mengoperasikan mesin *boiler* sejak tahun 2016 untuk menunjang proses produksinya. Meskipun mesin telah beroperasi hampir 5 tahun, akan tetapi belum pernah dilakukan analisa unjuk kerja terhadap *boiler* tersebut untuk mengetahui performansi mesin. Berkurang atau performansi tetap seperti kondisi awal.

Untuk mencegah terjadinya penurunan hasil produksi CPO ataupun pemberhentian total proses pengolahan buah kelapa sawit akibat kinerja *boiler* yang tidak baik. Perlu dilakukan analisa unjuk kerja *boiler* untuk mengetahui apakah terdapat penurunan performansi kerja setelah 5 tahun beroperasi, maka dari itu penulis melakukan penelitian tentang “Analisa Unjuk Kerja *Boiler* Kapasitas 45 Ton Uap/Jam Di PT. Rohul Sawit Industri”, yang bertujuan untuk mendapatkan kondisi unjuk kerja *boiler* type Takuma N 1300 yang digunakan di PT. Rohul Sawit Industri.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi unjuk kerja *boiler* dengan kapasitas 45 Ton Uap/Jam pada awal operasi di PT. Rohul Sawit Industri?
2. Bagaimana perbandingan kondisi unjuk kerja *boiler* pada awal operasi dengan unjuk kerja *boiler* pada saat ini?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mendapatkan kondisi unjuk kerja *boiler* kapasitas 45 Ton Uap/Jam pada awal operasi di PT. Rohul Sawit Industri.
2. Untuk mendapatkan perbandingan kondisi unjuk kerja *boiler* pada awal operasi dengan unjuk kerja *boiler* pada saat ini.

1.4 Batasan Masalah

Mengingat sangat luasnya permasalahan yang bisa di dapatkan dalam analisa ini, maka penulis membatasi ruang lingkup permasalahan pada :

1. Analisa dilakukan pada *boiler* dengan kapasitas 45 Ton Uap/Jam yang digunakan di PT. Rohul Sawit Industri.
2. *Boiler* yang digunakan adalah *type Takuma water tube boiler* N 1300.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika Pembahasan dalam penulisan tugas akhir ini dikelompokkan dalam beberapa bab yaitu :

Bab I Pendahuluan

Berisi pendahuluan yang menjelaskan latar belakang analisa, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Menjelaskan tinjauan pustaka yang memaparkan tentang teori-teori *boiler*.

Bab III Metodologi Penelitian

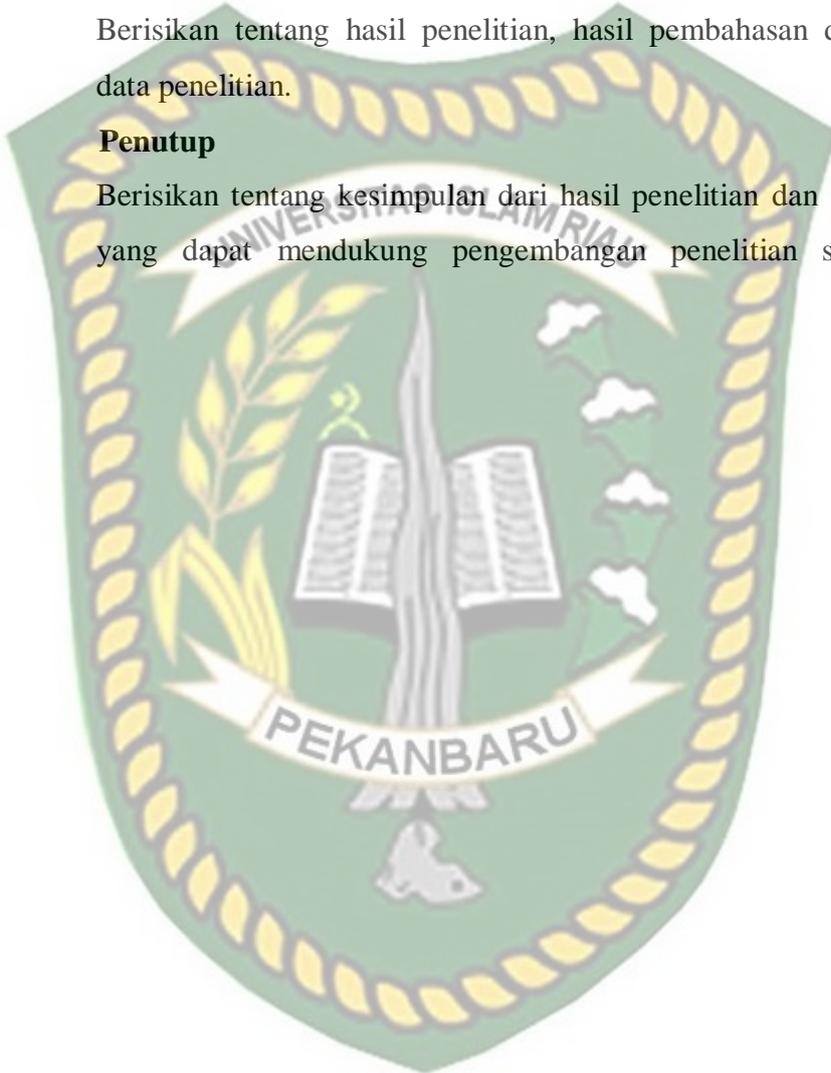
Berisi tentang desain penelitian, tempat dan waktu penelitian, metode pengumpulan data, diagram alur penelitian dan teknis analisis data.

Bab IV Hasil Dan Pembahasan

Berisikan tentang hasil penelitian, hasil pembahasan dan analisa data penelitian.

Bab V Penutup

Berisikan tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang dapat mendukung pengembangan penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Boiler.

Para insinyur Yunani dan Romawi sudah memiliki ilmu pengetahuan yang menarik dalam hal sifat-sifat uap dan air panas, tetapi tidak mencoba untuk mengaplikasikan ilmunya tersebut. Hero dari Iskandariah dengan *Whirling Aeolipyle*, mengembangkan prinsip turbin reaksi dan mesin jet seperti sekarang dalam bentuk yang masih sederhana, tetapi pada waktu itu hanya direncanakan sebagai permainan yang menggembarakan. (Rachmat Subagyo, 2018).

Pada tahun 1606 seorang ilmuwan yang bernama Giovanni Battista Porta yang merancang dua buah laboratorium percobaan, yang berfokus pada tenaga uap dan sistem kondensasi. Tahun 1641 yaitu Galilelo menyatakan bahwa air hanya dapat di pompa dari kedalaman 28 kaki (8,5344 m), tetapi dia meninggal pada tahun berikutnya, kemudian penelitian Galilelo dilanjutkan oleh seorang muridnya yaitu Evangelista Torricelli pada tahun 1643, dia menemukan bahwa tekanan atmosfer dapat menahan kolom air setinggi 32 kaki (9,7536 m) bila di atas permukaan air tersebut keadaan vakum.

Tahun 1698, Thomas Savery memperoleh Hak paten dari sebuah mesin pompa yang dengan sistem vakum, dengan memakai ketel uap dan pesawat kondensor. Tahun 1712 Thomas Newcomen dan John Calley berhasil membuat mesin uap pertama, uap yang dihasilkan boiler dialirkan ke dalam mesin uap lalu mengangkat piston sampai puncak.

Tahun 1764 sebuah model mesin Newcomen direparasi oleh James Watt, dia merancang mesin uap dengan silinder (tabung) dan sebuah piston, kemudian 5 tahun berikutnya dia mendapatkan Hak paten dari mesin uap ciptaannya. Sejak saat itu ketel uap (*boiler*) berevolusi sampai saat ini.

2.2 Definisi Boiler (Ketel Uap).

Menurut Haryadi (2010), Ketel uap atau *boiler* didefinisikan sebagai suatu alat yang dapat menghasilkan uap untuk digunakan di luar alat tersebut. Disamping boiler, terdapat alat yang dapat menghasilkan uap, akan tetapi uap tersebut digunakan untuk memanaskan produk di dalamnya. Alat ini disebut *autoclave*.

Menurut Rachmat Subagyo (2018), Ketel uap (*boiler*) adalah suatu bejana tertutup yang bisa menghasilkan uap, yang didalamnya terjadi banyak reaksi kimiawi yang rumit dan kompleks yang langsung berada dibawah tekanan, dan unsur-unsur yang menyebabkan timbulnya macam-macam endapan, kerak dan lain sebagainya.

Menurut Syamsir A .Muin (1988), *boiler* merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia atau energi otomis menjadi kerja (usaha).

Menurut M. Arifin (2016), Ketel uap atau yang sering disebut *boiler*, yaitu suatu komponen yang berfungsi sebagai tempat untuk menghasilkan uap, yang energi kinetiknya dimanfaatkan untuk memutar turbin. Air merupakan media utama yang diolah didalam boiler yang selanjutnya akan diproses untuk menghasilkan *steam* (uap).

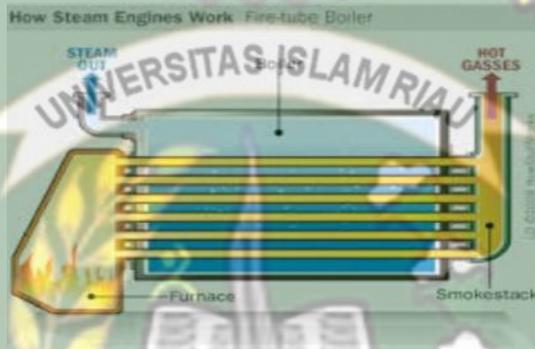
2.3 Klasifikasi Boiler.

Boiler pada dasarnya terdiri dari bumbung (*drum*) yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam, perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang mengklasifikasikan ketel uap tergantung kepada sudut pandang masing-masing. *Boiler* diklasifikasikan dalam kelas sebagai berikut ini.

2.3.1 Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa.

- a) Ketel pipa api (*fire tube boiler*).

Fluida yang mengalir dalam pipa adalah gas nyala (hasil pembakaran), yang membawa energi panas (*thermal energy*) kemudian ditransfer ke air ketel melalui bidang pemanas (*heating surface*). Yang bertujuan untuk memudahkan distribusi panas (kalori) kepada air ketel.

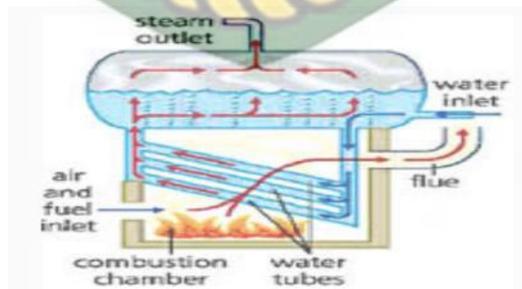


Gambar 2.1 Ketel pipa api (*fire tube boiler*).

Sumber : <https://nianur37.wordpress.com/2015/06/06/boiler-pipa-api-dan-boiler-pipa-air/>.

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

Fluida yang mengalir dalam pipa adalah air, sedangkan diluar pipa merupakan gas nyala (hasil pembakaran).



Gambar 2.2 Ketel pipa air (*water tube boiler*).

Sumber : <https://nianur37.wordpress.com/2015/06/06/boiler-pipa-api-dan-boiler-pipa-air/>.

2.3.2 Berdasarkan pemakaiannya.

a) Ketel stasioner (*stationary boiler*).

Disebut juga dengan ketel tetap. Yang termasuk stasioner ialah ketel-ketel yang didudukkan di atas pondasi yang tetap, seperti boiler untuk pembangkit tenaga, untuk industry dan lain-lain sebagainya.



Gambar 2.3 Ketel stasioner (*stationary boiler*).

Sumber : <http://matabayangan.blogspot.com/2013/04/jenis-jenis-ketel-uap.html?m=1>.

b) Ketel Mobil (*Mobile Boiler*).

Disebut juga dengan ketel pindah atau ketel *portable*. Yang termasuk ketel mobil, ialah ketel yang dipasang pada pondasi yang berpindah-pindah (*mobile*), seperti boiler lokomotif, loko mobil dan ketel panjang serta lainnya yang sepertinya termasuk juga ketel kapal (*marine boiler*).



Gambar 2.4 Ketel Mobil (*Mobile Boiler*).

Sumber : <https://fdokumen.com/document/boiler-5709da3faff3c.html>.

2.3.3 Berdasarkan letak dapur (*furnace position*).

- a) Ketel dengan pembakaran di dalam (*internally fired steam boiler*)
Pada ketel ini, dapur berada di bagian dalam (proses pembakaran terjadi didalam *boiler*). Biasanya digunakan pada system ketel pipa api.
- b) Ketel dengan pembakaran luar (*outternally fired steam boiler*).
Pada ketel ini, dapur berada dibagian luar (proses pembakaran terjadi diluar *boiler*). Biasanya digunakan pada system ketel pipa air.

2.3.4 Menurut jumlah lorong (*boiler tube*).

- a) Ketel dengan lorong tunggal (*single tube steam boiler*).
Pada ketel ini hanya terdapat satu lorong, yaitu lorong api atau saluran air.
- b) Ketel dengan lorong ganda (*multi tubeler steam boiler*).
Pada ketel ini terdapat dua lorong, yaitu lorong api dan saluran air.

2.3.5 Tergantung kepada poros tutup drum (*shell*).

- a) Ketel tegak (*Vertikal steam boiler*).
Contohnya ketel *Cochran*, ketel *Clarkson* dan lain-lain sebagainya.
- b) Ketel mendatar (*horizontal steam boiler*).
Contohnya *Cornish*, *Lancashire*, *Scotch* dan lain-lain.

2.3.6 Menurut bentuk dan letak pipa.

- a) Ketel dengan pipa lurus, bengkok dan berlekak-lekuk (*straight, bent, and sinus tubeler heating surface*).
- b) Ketel dengan pipa miring-datar dan miring tegak (*horizontal, inclined or vertical tubeler heating surface*).

2.3.7 Menurut system peredaran air ketel (*water circulation*).

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

Peredaran air yang terjadi dalam ketel secara alami, yaitu air yang ringan naik sedang air yang berat turun, sehingga terjadilah aliran konveksi alami.

- b) Ketel dengan peredaran paksa (*forced circulation steam boiler*)
Aliran paksa diperoleh dari sebuah pompa *centrifugal* yang digerakkan dengan *electric motor* misalnya.

2.3.8 Berdasar sumber panasnya (*heat source*) untuk proses pembuatan uap.

- a) Ketel uap dengan bahan bakar alami.
- b) Ketel uap dengan bahan bakar buatan.
- c) Ketel uap dengan dapur listrik.
- d) Ketel uap dengan energi nuklir.

2.3.9 Berdasarkan temperatur kerja.

- a) Ketel dingin, yaitu yang bekerja pada temperatur $< 120^{\circ}\text{C}$.
- b) Ketel panas, yaitu yang bekerja pada temperatur $> 120^{\circ}\text{C}$.

2.3.10 Berdasarkan kapasitas ketel.

- a) Ketel kecil \rightarrow sampai dengan 10 ton/jam.
- b) Ketel sedang \rightarrow 10 – 100 ton/jam.
- c) Ketel besar \rightarrow 100 – 500 ton/jam.
- d) Ketel ultra \rightarrow Lebih dari 500 ton/jam.

2.3.11 Berdasarkan tekanan kerja.

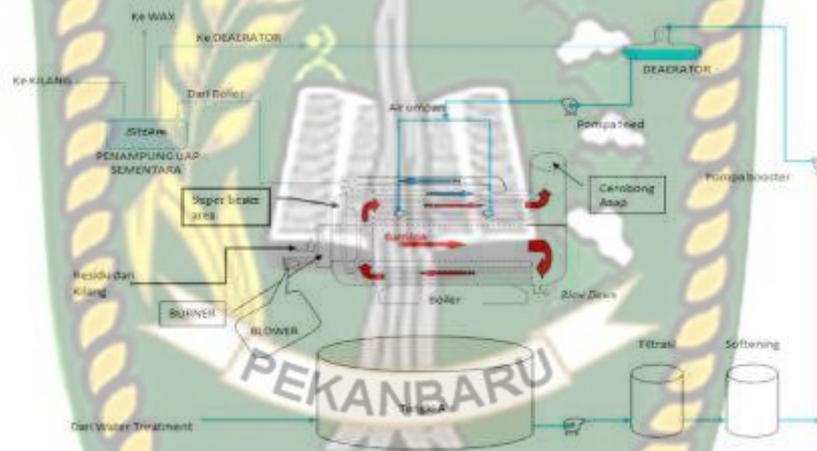
- a) Ketel tekanan rendah \rightarrow Sampai dengan 20 atm.
- b) Ketel tekanan sedang \rightarrow 20 – 50 atm.
- c) Ketel tekanan tinggi \rightarrow 50 – 218 atm.
- d) Ketel super kritis $\rightarrow > 218$ atm.

2.3.12 Berdasarkan teknik pembakarannya.

- a) *Boiler* dengan teknik pembakaran unggun terfluidasi.
- b) *Boiler* dengan teknik pembakaran *stoker*.
- c) *Boiler* dengan teknik pembakaran pulverisasi.

2.4 Prinsip Kerja Boiler.

Sistem kerja *boiler* khususnya pada *boiler* Takuma *type* N1300 termasuk ke dalam klasifikasi ketel pipa air (*water tube boiler*), dimana air yang akan dirubah fasenya menjadi uap berada di dalam drum ketel uap.



Gambar 2.5 Sirkulasi air dan uap pada *boiler*.

Sumber : Suryo & Siswanto. (2015).

Air yang digunakan untuk di rubah menjadi uap (*steam*) adalah air umpan ketel uap yang sudah diolah di pengolahan air (*water treatment plant*) yang bersumber dari sungai Rokan. Kemudian air dari *water treatment plant* diolah kembali di *boiler plant* dengan menggunakan *sand filter*, *softener* dan *deaerator* untuk memenuhi standard operasional air umpan *boiler*. Dari *deaerator* air ditampung pada *soft water tank*, air dipompa oleh *feed water pump* untuk disalurkan ke dalam *boiler*. Di dalam *soft water tank* air ditampung sementara dan akan disalurkan kedalam *boiler* sesuai dengan yang dibutuhkan. Proses kerja boiler dapat dilihat pada Gambar 2.5. *Boiler* yang digunakan di PT. Rohul Sawit

Industri adalah merk Takuma N1300 yang merupakan *boiler* jenis pipa air dengan kapasitas ketel uap tergolong sedang. *Boiler* yang berjumlah 3 buah, 1 buah cadangan, 1 buah sudah tidak beroperasi karena rusak dan 1 buah beroperasi.

2.5 Uap (*Steam*).

Uap air adalah fluida yang merupakan fase gas dari air, fase gas ini didapat dari proses pemanasan air sampai mencapai titik temperatur didih di bawah tekanan tertentu. Uap air tidak memiliki warna, bahkan tidak tampak bila uap tersebut berada dalam kondisi kering (uap panas lanjut). Pada sistem pembangkit, uap digunakan sebagai energi panas yang dihasilkan dari pemanasan air pengisi ketel. Penggunaan uap sebagai penggerak pada turbin.

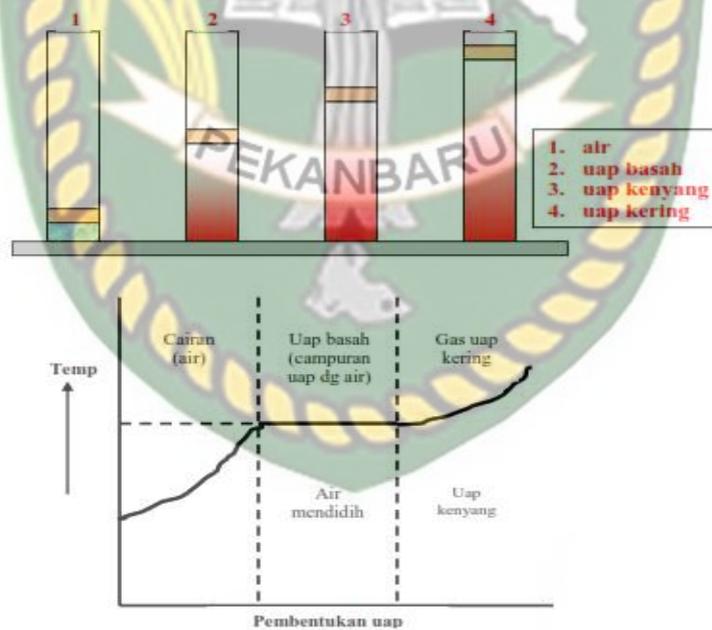
Berikut ini alasan kenapa uap banyak dipilih sebagai sumber energi :

- a) Uap efisien dan ekonomis untuk dihasilkan.
- b) Uap dapat dengan mudah dan murah untuk didistribusikan ke titik penggunaan.
- c) Uap mudah untuk dikendalikan.
- d) Uap bersifat fleksibel.
- e) Uap dapat menyimpan sejumlah besar energi.

2.6 Proses Pembentukan Uap (*Steam*).

Pembentukan uap (*steam*) bergantung pada kondisi tekanan dan temperatur, proses pembentukan uap diupayakan sedemikian rupa agar berada pada kondisi tekanan konstan. Bila 1 kg air dengan temperatur 200°C dipanaskan dalam sebuah bejana tertutup dengan tekanan konstan yaitu 1 atm, maka selama pemanasan tingkat pertama titik temperatur didih tercapai pada kondisi ini uap mulai terbentuk. Uap ini dinamakan uap basah (*saturated liquid*), karena masih bercampur antara uap dengan butiran air. Apabila uap basah dipanaskan lagi maka akan berubah menjadi uap jenuh (*saturated vapour*), yaitu keadaan dimana uap sudah berubah menjadi wujud uap secara keseluruhan. Jumlah panas yang dibutuhkan untuk mengubah 1kg air mendidih menjadi uap jenuh pada kondisi

tekanan konstan dinamakan panas laten, bila pemanasan dilanjutkan maka temperatur uap jenuh itu menjadi naik dan uap itu dinamakan uap panas lanjut (*superheated vapour*). Proses pembentukan uap pada *boiler*, dimulai dengan udara dan bahan bakar dimasukkan ke dalam dapur sampai terjadi proses pembakaran. Selanjutnya gas-gas hasil pembakaran melewati *evaporator*, *superheater*, *air heater*, dan akhirnya gas hasil pembakaran tersebut dibuang ke atmosfer melalui cerobong asap (*Chimney*). Sedangkan air pengisi ketel (air umpan) setelah di proses secara kimiawi di stasiun *water treatment* masuk ke dalam daerator untuk dipanaskan sampai mencapai temperatur yang ditentukan, lalu dimasukkan kedalam *evaporator* dan selanjutnya uap jenuh dipanaskan lanjut pada alat yang dinamakan *superheater* dan pada akhirnya diperoleh uap panas lanjut (*superheated steam*). Pada Gambar 2.6 dibawah ini dapat dilihat grafik pembentukan uap.



Gambar 2. 6 Grafik Pembentukan Uap (*steam*).

Sumber : Rachmat Subagyo. (2018).

2.7 Komponen-komponen *Boiler*.

Secara umum *boiler* terdiri dari dua sistem yang terpisah, dimana di bagian ini tidak ada terjadi pertukaran atau perpindahan massa. Sistem yang pertama adalah sistem air-uap, dengan kata lain disebut sisi air ketel. Sedangkan sistem yang kedua adalah bahan bakar-udara-gas asap, atau bisa juga disebut dengan sisi api. Walaupun di antara keduanya tidak ada transfer massa, akan tetapi pada bagian ini pastinya terdapat perpindahan panas.

Komponen-komponen utama *boiler* ialah sebagai berikut ini :

- a) Sistem air – uap : pompa, deaerator, penampung air, penampung uap, pemanas uap lanjut (*superheater*) dan penyalur uap.
- b) Sistem bahan bakar – udara - gas asap : blower, pengumpan bahan bakar, pencampur dan pembakar, pembuang gas asap (cerobong, blower).
- c) Permukaan perpindahan panas.
- d) Sistem perolehan panas kembali : pemanas mula udara, ekonomiser.

2.7.1 Tungku Pengapian (*Furnace*).

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



Gambar 2.7 Tungku Pengapian (*Furnace*).

Sumber : Dokumentasi penulis. (2020).

2.7.2 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 temperatur rendah akan turun kebawah dan air yang bertemperatur tinggi akan naik keatas kemudian menguap.



Gambar 2.8 *Steam* drum.

Sumber : Dokumentasi penulis. (2020).

2.7.3 Pemanas Uap Lanjut (*Superheater*).

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

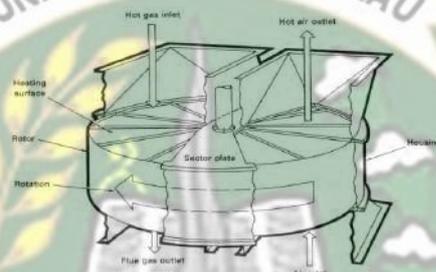


Gambar 2.9 Pemanas Uap Lanjut (*Superheater*).

Sumber : <https://mr-sawit.blogspot.com/2017/10/fungsi-dan-komponen-boiler.html?m=1>.

2.7.4 Pemanas Udara (*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 temperatur udara normal (temperatur luar) yaitu 38°C. Namun setelah melewati *air heater* temperatur udara akan meningkat menjadi 230°C, tujuannya untuk menghilangkan air yang berada pada bahan bakar.

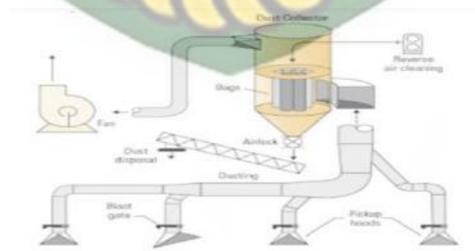


Gambar 2.10 Pemanas Udara (*Air Heater*).

Sumber : Rao, K. R. (1933).

2.7.5 Pengumpul Abu (*Dust Collector*).

Bagian ini berfungsi untuk mengumpulkan abu yang berterbangan dan bercampur dengan gas asap sebelum di teruskan ke cerobong asap, tujuannya agar gas asap hasil pembakaran yang di lepaskan ke atmosfer menjadi bersih.



Gambar 2.11 Pengumpul Abu (*Dust Collector*)

Sumber : <https://mr-sawit.blogspot.com/2017/10/fungsi-dan-komponen-boiler.html?m=1>.

2.7.6 Lubang abu (*Ash Hopper*)

Ruang dimana abu yang tidak ikut melayang dengan gas asap, turun melalui lubang-lubang yang terdapat pada lantai ruang bakar, kemudian diteruskan ke *ash hopper*. Abu terjatuh melalui perapian api kedalam kotak yang sering dilepas (*removable box*).

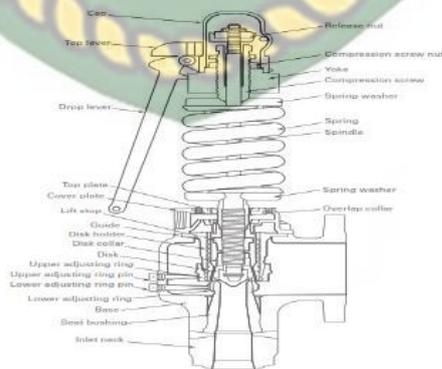


Gambar 2.12 Lubang abu (*Ash Hopper*)

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

2.7.7 Katup Pengaman (*Safety Valve*).

Komponen ini berfungsi untuk membuang uap apabila tekanan uap yang berada di dalam drum atas telah melebihi kapasitas yang telah ditentukan. Pada uap basah biasanya diatur pada tekanan 21 kg/cm^2 , dan pada uap kering diatur pada tekanan $20,5 \text{ kg/cm}^2$.



Gambar 2.13 Katup Pengaman (*Safety Valve*).

Sumber : Rao, K. R. (1933).

2.7.8 Gelas Penduga (*Sight Glass*).

Gelas penduga ini dipasang pada bagian drum atas, berfungsi untuk mengetahui kondisi *level* air yang berada didalam drum atas. Gelas penduga dilengkapi dengan alarm yang akan berbunyi apabila *level* air berada pada posisi yang tidak sesuai kapasitas yang telah ditentukan.



Gambar 2.14 Gelas Penduga (*Sight Glass*).

Sumber : Rao, K. R. (1933).

2.7.9 *Blowdown Continue*.

Komponen ini sejenis *valve* yang langsung berhubungan dengan drum atas, fungsinya adalah untuk membuang air pada drum apabila melebihi kapasitas air pengisian.



Gambar 2.15 *Blowdown Continue*.

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

2.7.10 *Forced Draft Fan (FDF) & Secondary Forced Draft Fan (SFDF).*

Kedua alat ini berfungsi untuk mensuplay udara untuk pembakaran bahan bakar, pendinginan roster dan penyebaran bahan bakar. FDF & SFDF ini digerakkan oleh motor listrik.



Gambar 2.16 (a) *Secondary Forced Draft Fan (SFDF)*, (b) *Forced Draft Fan (FDF)*.

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

2.7.11 *Induced Draft Fan (IDF).*

Alat ini berfungsi untuk menginduksi gas sisa dari bahan bakar ke dalam cerobong asap (*chimney*) dan menjaga tekanan dapur berada pada tekanan semulanya / tekanan yang direncanakan.

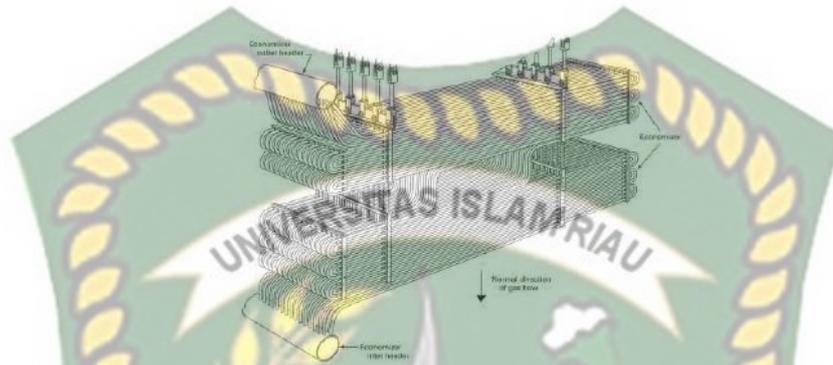


Gambar 2.17 *Induced Draft Fan (IDF).*

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

2.7.12 Pemanas Air (*Economizer*).

Komponen ini berfungsi untuk memanaskan *feedwater* dengan memanfaatkan panas dari gas asap sebelum masuk ke cerobong asap (*chimney*).



Gambar 2.18 Pemanas Air (*Economizer*).

Sumber : Rao, K. R (1933).

2.7.13 Cerobong Asap (*Chimney*).

Komponen ini berfungsi untuk membuang gas sisa hasil pembakaran yang bersumber dari ruang bakar *boiler* menuju ke atmosfer. Udara yang dibuang melalui cerobong asap sudah melewati tahap penyaringan agar tidak menyebabkan polusi udara.



Gambar 2.19 Cerobong Asap (*Chimney*).

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

2.8 Perpindahan Panas Pada *Boiler*.

Panas yang diperoleh dari hasil proses pembakaran bahan bakar dan udara yang terjadi di ruang bakar (tungku *boiler*), yaitu berupa api (menyala) dan gas asap (tidak menyala) yang kemudian ditansfer kepada air, uap maupun udara melalui bidang yang dipanaskan (*heating surface*) pada suatu instalasi ketel uap, dengan 3 cara, yaitu :

- a) Pancaran (radiasi).
- b) Aliran (konveksi).
- c) Perambatan (konduksi).

2.8.1 Perpindahan Panas Secara Pancaran (Radiasi).

Perpindahan panas secara pancaran (radiasi) adalah perpindahan panas antara suatu benda ke benda lainnya dengan jalan melalui gelombang-gelombang elektromagnetis tanpa tergantung kepada ada tidaknya media atau zat diantara benda yang menerima pancaran panas tersebut.

2.8.2 Perpindahan Panas Secara Aliran (Konveksi).

Perpindahan panas secara aliran (konveksi) adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida (cairan ataupun gas). Molekul-molekul fluida tersebut dalam gerakannya melayang-layang ke sana kemari membawa sejumlah panas masing-masing q (Joule).

2.8.3 Perpindahan Panas Secara Perambatan (Konduksi).

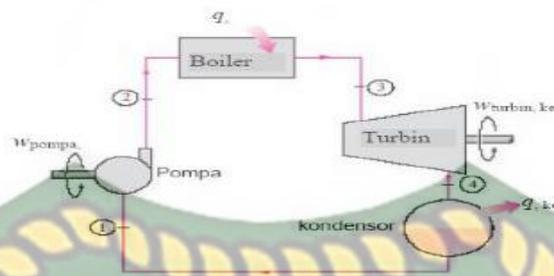
Perpindahan panas secara perambatan atau konduksi adalah perpindahan panas dari satu bagian benda padat ke bagian lain dari benda padat yang sama, atau dari benda padat yang satu ke benda padat yang lain karena terjadinya persinggungan fisik (kontak fisik atau menempel) tanpa terjadinya perpindahan molekul-molekul dari benda itu sendiri.

2.9 Siklus Rankine.

Siklus Rankine adalah siklus teoritis yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap. Siklus Rankine berbeda dengan siklus-siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi, oleh karena itu fluida kerja dari siklus rankine harus merupakan uap. Siklus rankine ideal tidak melibatkan beberapa masalah *irreversibilitas internal*. *irreversibilitas internal* dihasilkan dari gesekan fluida, *throttling*, dan pencampuran, yang paling penting adalah *irreversibilitas* dalam turbin dan pompa dan kerugian-kerugian tekanan dalam penukar-penukar panas, pipa-pipa, bengkokan-bengkokan, dan katup-katup.

Temperatur air sedikit meningkat selama proses kompresi isentropik karena ada penurunan kecil dari volume jenis air, air masuk *boiler* sebagai cairan kompresi pada kondisi 2 dan meninggalkan *boiler* sebagai uap kering pada kondisi 3. *Boiler* pada dasarnya penukar kalor yang besar dimana sumber panas dari pembakaran gas, reactor nuklir atau sumber yang lain ditransfer secara essensial ke air pada tekanan konstan. Uap *superheater* pada kondisi ke 3 masuk turbin yang mana uap diexpansikan secara isentropik dan menghasilkan kerja oleh putaran poros yang dihubungkan pada generator listrik. Temperatur dan tekanan uap jatuh selama proses ini mencapai titik 4, dimana uap masuk ke kondensor dan pada kondisi uap biasanya merupakan campuran cairan-uap jenuh dengan kualitas tinggi.

Uap dikondensasikan pada tekanan konstan di dalam kondensor yang merupakan alat penukar kalor mengeluarkan panas ke medium pendingin. Pada gambar 2.20 dibawah ini dapat dilihat diagram alir siklus rankine sederhana.

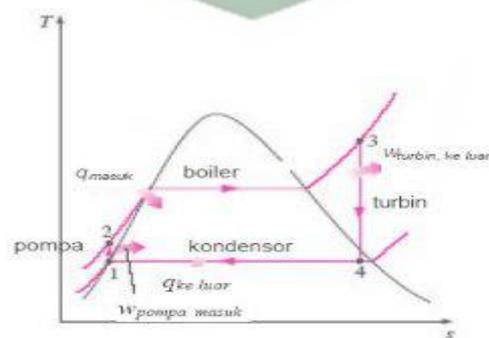


Gambar 2.20 Diagram Alir Siklus Rankine Sederhana.

Sumber : Rachmat Subagyo. (2018).

Keterangan :

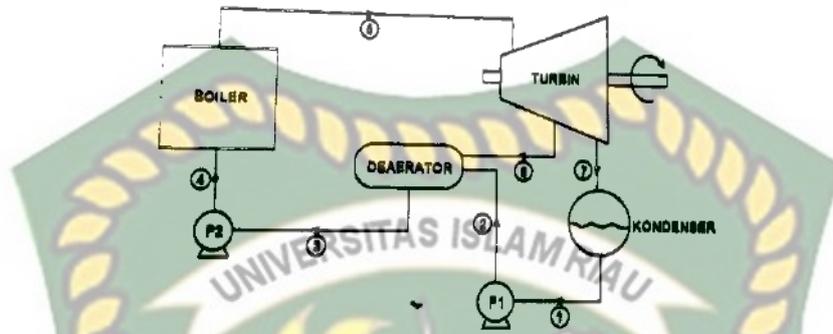
- Kondisi 1 : Air Kondensasi dari kondensor dialirkan ke pompa.
- Kondisi 2 : Kemudian pompa mengalirkan air kondensat kedalam *boiler* untuk dipanasi kembali yang bertujuan untuk merubah fasa air menjadi uap.
- Kondisi 3 : Uap jenuh hasil pemanasan dipanasi lanjut ke dalam superheater agar menjadi uap panas lanjut, kemudian dimasukkan ke dalam turbin uap sehingga memutar sudu-sudu turbin.
- Kondisi 4 : Uap sisa dari turbin uap dialirkan ke kondensor untuk didinginkan kembali yang bertujuan untuk merubah fasa uap menjadi fasa cair atau air.



Gambar 2. 21 Diagram T – s Siklus Rankine Sederhana

Sumber : Rachmat Subagyo. (2018).

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



Gambar 2.22 Diagram Alir Siklus Rankine Dengan Satu Tingkat Ekstraksi.

Sumber : Andi Winata. (2016).

2.10 Nilai Kalor Bahan Bakar (*Heating Value*)

Nilai Kalor merupakan energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Bahan bakar adalah zat kimia yang apabila direaksikan dengan oksigen (O_2) akan menghasilkan sejumlah kalor. Bahan bakar dapat berwujud gas, cair, maupun padat. Selain itu, bahan bakar merupakan suatu senyawa yang tersusun atas beberapa unsur seperti karbon (C), hydrogen (H), belerang (S), dan nitrogen (N).

a) Nilai Kalor Pembakaran Tinggi.

Nilai kalor pembakaran tinggi atau dikenal juga dengan istilah *High Heating Value* (HHV) adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan air dari proses pembakaran ikut diperhitungkan sebagai panas dari proses pembakaran.

Dirumuskan dengan :

$$HHV = 33915 C + 144033 \left(H - \frac{O_2}{8} \right) + 10468 S \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.1}$$

Literatur : Djokosetyardjo M. J. (2003).

b) Nilai Kalor Pembakaran Rendah.

Nilai kalor pembakaran rendah atau dikenal juga dengan istilah *Low Heating Value* (LHV) adalah nilai pembakaran dimana panas penguapan uap air dari hasil pembakaran tidak ikut dihitung sebagai panas dari proses pembakaran.

Dirumuskan dengan :

$$\text{LHV} = 33915 C + 121423 \left(H - \frac{O_2}{8} \right) + 10468 S - 2512 \left(W + 9 \times \frac{O_2}{8} \right)$$

(kJ/kg)Pers. 2.2

Literatur : Djokosetyardjo M. J. (2003).

Boiler Takuma N1300 yang digunakan di PT. Rohul Sawit Industri menggunakan bahan bakar campuran dari serabut (*fiber*) dan cangkang (*shell*) sawit. Komposisi kimia dari serabut dan cangkang dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Serabut (*fiber*) dan Cangkang (*shell*) Sawit.

Unsur	Serabut (%)	Cangkang (%)
Carbon (C)	41,15	49,22
Hidrogen (H_2)	5,2	5,8
Sulfur (S)	0,15	0,18
Oksigen (O_2)	32,1	34,2
Nitrogen (N_2)	1,4	0,6
Abu	8	4
Air (H_2O)	12	6
Jumlah	100	100

Sumber : PT. Rohul Sawit Industri. (2022).

Pada pabrik kelapa sawit PT. Rohul Sawit Industri menggunakan perbandingan bahan bakar serabut (*fiber*) dan cangkang (*shell*) sawit adalah 7 : 3 atau sama dengan 70 % serabut dan 30 % cangkang, maka persentase bahan bakar setelah dicampur adalah sebagai berikut :

$$C = (0,70 \times 0,4115) + (0,30 \times 0,4922) = 0,435$$

$$H_2 = (0,70 \times 0,052) + (0,30 \times 0,058) = 0,053$$

$$S = (0,70 \times 0,0015) + (0,30 \times 0,0018) = 0,015$$

$$O_2 = (0,70 \times 0,321) + (0,30 \times 0,342) = 0,327$$

$$N_2 = (0,70 \times 0,014) + (0,30 \times 0,006) = 0,011$$

$$\text{Abu} = (0,70 \times 0,08) + (0,30 \times 0,04) = 0,068$$

$$H_2O = (0,70 \times 0,12) + (0,30 \times 0,06) = 0,102$$

Berdasarkan hasil campuran persentase kimia kedua bahan bakar diatas, maka dapat dicari nilai kalor kedua bahan bakar tersebut :

$$\begin{aligned}
 1. \text{ HHV} &= 33915 C + 144033 \left(H - \frac{O_2}{8} \right) + 10468 S \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.1} \\
 &= 33915 \times 0,435 + 144033 \left(0,053 - \frac{0,327}{8} \right) + 10468 \times 0,015 \\
 &= 14753 + 1746,40 + 157,02 \\
 &= 16656,42 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ LHV} &= 33915 C + 121423 \left(H - \frac{O_2}{8} \right) + 10468 S - 2512 \left(W + 9 \times \frac{O_2}{8} \right) \\
 &\text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.2} \\
 &= 33915 \times 0,435 + 121423 \left(0,053 - \frac{0,327}{8} \right) + 10468 \times 0,015 - 2512 \\
 &\quad \left(0,102 + 9 \times \frac{0,327}{8} \right) \\
 &= 14753 + 1472,25 + 157,02 - 9497,24 \\
 &= 6885,03 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan nilai komposisi kimia dari serabut dan cangkang serta persamaan 2.1 dan 2.2 maka di dapat nilai kalor atas (HHV) yaitu 16656,42 kJ/kg sedangkan untuk nilai kalor bawah (LHV) yaitu 6885,03 kJ/kg.

2.11 Udara Berlebih (*Excess Air*)

Untuk aplikasi komersial, dibutuhkan lebih dari udara teoritis untuk melakukan pembakaran yang sempurna. Udara berlebih ini dibutuhkan karena udara dan bahan bakar yang bercampur tidak sempurna. Karena udara berlebih tidak digunakan untuk pembakaran yang tersisa pada unit saat pengaturan suhu yang tinggi, jumlah udara berlebih harus diminimalkan. Nilai khusus dari udara berlebih untuk berbagai bahan bakar dan metode pembakaran terlihat pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Udara Berlebih (*Excess Air*)

Bahan Bakar	Udara Berlebih (%)
Bahan Bakar Padat : Batubara	25-35
Kokas	3-15
Kayu	20-25
Ampas Tebu	25-35
Bahan Bakar Cair : Minyak	3-15
Bahan Bakar Gas : Gas Alam	3-15
Refinery Gas	3-15
Blast-furnece gas	15-30
Coke oven gas	3-15

Sumber : Babcock dan Wilcox

2.12 Unjuk Kerja *Boiler*.

Unjuk kerja ketel terkait dengan kemampuan ketel untuk menghantarkan panas dari bahan bakar ke air untuk memenuhi spesifikasi operasional. Unjuk

kerja ketel meliputi seluruh aspek operasi. Unsur dasar unjuk kerja adalah kapasitas operasi dan efisiensi ketel, spesifikasi unjuk kerja meliputi kapasitas operasi dan faktor-faktor untuk mengatur kapasitas, tekanan uap, kualitas air ketel, temperatur ketel, tarikan ketel, dan rugi-rugi tarikan (*draft*), analisis gas asap, analisis bahan bakar dan bahan bakar yang terbakar. (Loekman, et al., 2013).

Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai *boiler*, kita harus memahami beberapa faktor – faktor yang dapat mempengaruhi kinerja dari ketel uap. Ada empat faktor utama yang mempengaruhi sistem kerja dari ketel uap yaitu Tekanan, Temperatur, kapasitas, efisiensi.

2.12.1 Kebutuhan Bahan Bakar.

Banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan ketel uap untuk menghasilkan uap dengan kondisi yang diinginkan dapat dihitung dengan rumus :

$$W_{fuel} = \frac{m_u(h_2 - h_1)}{\eta \cdot LHV} \text{ (kg/jam) } \dots\dots\dots \text{Pers. 2.3}$$

Dimana :

- W_{fuel} = Kebutuhan Bahan Bakar (kg/jam).
- m_u = *Steam Flow* (kg/jam)
- h_2 = Entalpi Uap Superheater (kJ/kg).
- h_1 = Entalpi Uap Saturated (kJ/kg).
- LHV = *Low Heating Value* (kJ/kg).
- η = Efisiensi Ketel.

Literatur : Syamsir A. Muin. (1988).

2.12.2 Kalor yang Dibutuhkan *Boiler*.

Kalor pembakaran ialah energi panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran sejumlah bahan bakar di dalam ruang bakar. Besarnya kalor pembakaran yang dihasilkan pada ruang bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$Q = m^u \times \Delta h \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.4}$$

Dimana : Q = Kalor Pembakaran (kg/jam).

m^u = Aliran Uap (kg/jam).

Δh = Perubahan Entalpi (kJ/kg).

Literatur : Djokosetyardjo M. J. (2003).

2.12.3 Panas Yang Diserap Dalam Dapur.

$$Q_f = W_f \text{ (LHV)} n_f \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.5}$$

Dimana :

W_f = Pemakaian Bahan Bakar (kg/jam).

LHV = *Lower Heating Value* (kJ/kg).

n_f = Efisiensi Dapur 0,90 - 0,97.

Literatur : Syamsir A. Muin. (1988).

Sebagian dari panas tersebut dibawa keluar gas asap meninggalkan dapur pada suhu tinggi sebesar :

$$Q_g = W_f \cdot V_g \cdot C_p \cdot T_g \text{ (kJ/jam)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.6}$$

Dimana :

W_f = Pemakaian Bahan Bakar (kg/jam).

V_g = Volume Gas Asap = 7,46 (nm³/kg).

C_p = Panas Jenis Gas = 1,0048 (kJ/kg).

T_g = Suhu Gas Asap (°C).

Literatur : Syamsir A. Muin. (1988).

2.12.4 Kebutuhan Udara Pembakaran.

Jumlah udara teoritis yang dibutuhkan adalah :

$$U_{ov} = \frac{100}{21} \times O_2 \text{ (nm}^3\text{)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.7}$$

Untuk mendapatkan pembakaran sempurna dari bahan bakar dibutuhkan penambahan udara sebesar aktual dapat diperoleh :

$$U_{ov(aktual)} = 1,17 \times U_{ov(teo)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.8}$$

Maka : Kebutuhan Udara sesungguhnya adalah :

$$U_{ov(total)} = U_{ov(aktual)} \times W_{fuel} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.9}$$

Literatur : Djokosetyardjo M. J. (2003).

2.12.5 Efisiensi.

Daya guna (*Efisiensi Boiler*) adalah perbandingan antara konsumsi panas dengan suplai panas, untuk mencari efisiensi *boiler* maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_b = \frac{Q_{berguna}}{Q_{masuk}} \times 100\% \dots\dots\dots \text{Pers. 2.10}$$

Atau

$$\eta_b = \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)}{(h_3 - h_2)} \times 100\%$$

Dimana : η_b = *Efisiensi boiler* (%).

T_1 = Temperatur *feed Water* (°C, °F), h_1 = Enthalpy air umpan(°C, °F)

T_2 = Temperatur daerator (°C, °F), h_2 = Enthalpy daerator (°C, °F)

T_3 = Temperatur superheater(°C, °F), h_3 =Enthalpy uap superheater (°C, °F)

T_4 = Temperatur uap sisa (°C, °F), h_4 = Enthalpy uap sisa (°C, °F)

Literatur : Sitompul. (1996).

2.12.6 Kapasitas Boiler.

Kapasitas adalah kemampuan maksimum *boiler* untuk menghasilkan uap dalam setiap ton/jam. Untuk mencari kapasitas *boiler* persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Q_b = \frac{\eta_b \times W_{fuel} \times LHV}{\Delta Enthalpi} \text{ (kg/jam)} \dots \text{Pers. 2.11}$$

Dimana : Q_b = Kapasitas (kg/jam).

η_b = Efisiensi boiler (%).

W_{fuel} = Kebutuhan bahan bakar (kg/jam).

LHV = Nilai kalor rendah (kJ/kg).

$\Delta Enthalpi$ = Perbedaan enthalpy uap dan enthalpy air (kJ/kg).

Literatur : S. M. Siregar. (2015).

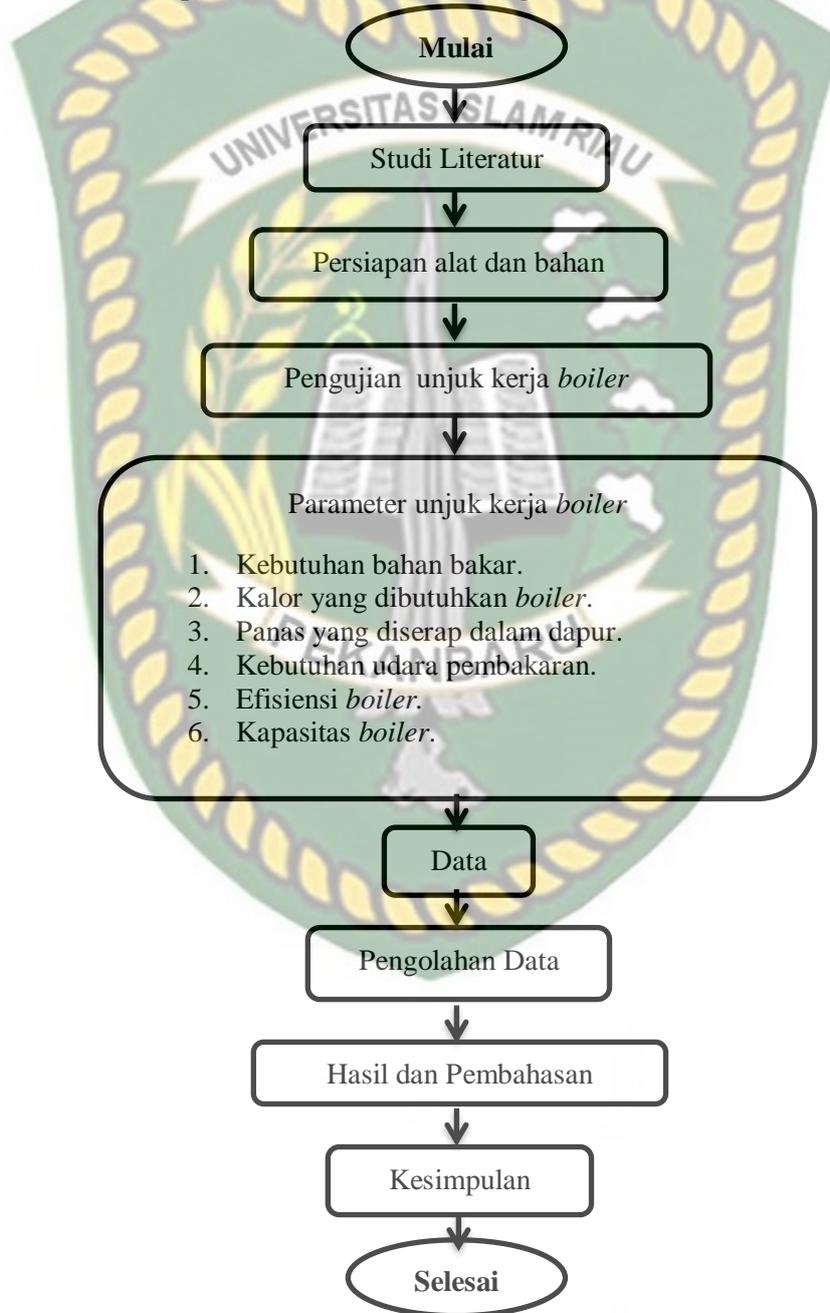


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.

Pelaksanaan penelitian berdasarkan diagram alir dibawah ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian.

Tempat pelaksanaan pengambilan data untuk penelitian tugas akhir tentang analisa unjuk kerja *boiler* kapasitas 45 ton uap/jam ini, di lakukan di PT. Rohul Sawit Industri, Desa Sukadamai, Kecamatan Ujungbatu, Kabupaten Rokan Hulu – Riau, pada tanggal 10 Januari 2022 sampai dengan tanggal 15 Januari 2022.



Gambar 3.2 PT. Rohul Sawit Industri.

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

3.3 Alat Dan Bahan.

Sebelum melakukan pengujian harus menyediakan alat dan bahan agar penelitian berjalan dengan lancar dan mendapatkan hasil yang baik.

3.3.1 Alat Yang Digunakan.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. *Boiler*.

Boiler yang digunakan dalam penelitian ini ialah jenis *boiler* pipa air, menggunakan bahan bakar *fibre* (serabut) dan *Shell* (cangkang) kelapa sawit, dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Spesifikasi *Boiler*

<i>Boiler Model</i>	N 1300
<i>Max working Pressure</i>	24.0 kg/cm ²
<i>Max steam evaporation</i>	45.000 kg/h
<i>Steam temperature</i>	Saturated °C
<i>Serial No</i>	1559
<i>Year</i>	2015
<i>Design by</i>	PT. Super Andalas Steel Indonesia
<i>Boiler Type</i>	<i>Water tube boiler</i>

Sumber : PT. Rohul Sawit Industri. (2020).

Boiler Takuma ada beberapa *type* seperti *type* N dan NS dengan bahan bakar sisa kayu, bagasse, kelapa sawit dan lain-lain. Ketel ini dirancang dengan sistim *balanced draft* dan sirkulasi natural, dan juga ketel ini adalah *type* dengan kontruksi dinding dapur yang sama sekali didinginkan dengan air,yang dapat menyerap panas radiasi secara *effective* dalam dapur pembakaran (*Combustion Chamber*),sehingga mempunyai efisiensi yang tinggi dan sangat flexible terhadap fluktuasi beban. *Boiler* Takuma dapat dilihat pada Gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3 *Boiler* Takuma.

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

2. Monitor *Pressure*.

Monitor *Pressure* (alat ukur tekanan) merupakan suatu alat yang digunakan untuk mendapatkan harga tekanan kerja pada *boiler*. Harga tekanan kerja *boiler* dapat dibaca melalui monitor yang terlihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Monitor *Pressure Gauge*.

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

3. Monitor *Temperatur*.

Monitor *temperatur* (alat ukur temperatur) merupakan suatu alat ukur yang digunakan untuk mendapatkan harga temperatur kerja pada *boiler*. Monitor *temperatur* dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Steam Temperatur Gauge*.

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

4. Monitor *Steam Flow*.

Monitor *Steam Flow* (alat ukur laju aliran fluida) merupakan suatu alat ukur yang digunakan untuk mendapatkan harga laju aliran *Steam* (uap) pada saat *boiler* beroperasi. Monitor *Steam Flow* dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Monitor *Steam Flow*.

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

5. Monitor *Water Flow*.

Monitor *Water Flow* (alat ukur laju aliran fluida) merupakan suatu alat ukur yang digunakan untuk mendapatkan harga laju aliran *Water* (air) yang masuk ke drum atas pada saat *boiler* beroperasi. Monitor *Water Flow* dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Monitor *Water Flow*.

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

6. *Water Level Gauge*.

Water Level Gauge (Gelas penduga) merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengetahui kondisi *level* air yang terdapat di dalam drum atas. *Water level Gauge* terlihat pada Gambar 3.8 dibawah ini.



Gambar 3.8 *Water Level Gauge*.

Sumber : Dokumetasi Penulis. (2020).

3.3.2 Bahan Yang Digunakan.

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Serabut (*Fibre*).

Serabut (*Fibre*) merupakan bahan bakar dari *boiler* yang digunakan dalam penelitian ini, serabut dapat dilihat pada Gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.9 Serabut (*Fibre*).

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

2. Cangkang (*Shell*).

Cangkang (*Shell*) merupakan bahan bakar dari *boiler* yang dicampur dengan Serabut (*Fibre*) sebagai sumber energi kalor yang di transfer ke air melalui bidang pemanas (*heating surface*). Cangkang dapat dilihat pada Gambar 3.10 dibawah ini.



Gambar 3.10 Cangkang (*Shell*).

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

3. Air Umpan *Boiler*.

Air merupakan fluida kerja dari *boiler*. Didalam *boiler* air berubah fase menjadi uap, perubahan fase ini dilakukan dengan cara pemberian tekanan dan temperatur ke air pada saat *boiler* beroperasi. Di PT. Rohul Sawit Industri air umpan *boiler* bersumber dari sungai Rokan yang dikumpulkan pada suatu danau yang terletak di dalam area Pabrik. Danau tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.11 dibawah ini.



Gambar 3.11 Sumber Air Umpan *Boiler*.

Sumber : Dokumentasi Penulis. (2020).

3.4 Prosedur Pengujian.

Proses analisa unjuk kerja *boiler* kapasitas 45 ton uap/jam ini, menggunakan data hasil pengujian unjuk kerja *boiler* pada awal mula mulai beroperasi dan data hasil pengujian unjuk kerja *boiler* pada bulan Januari pada waktu penelitian. Prosedur pengujian berdasarkan langkah-langkah berikut ini :

1. Periksa dari bagian atas *boiler*, periksa semua kran pada *boiler* dan pastikan semuanya dalam keadaan tertutup.
2. Periksa IDF (*Induced Draft Fan*), FDF (*Forced Draft Fan*), bearing motor, baut pengikat elektrik motor, ketegangan *v-belt blower* dan baut-baut yang longgar.
3. Periksa ketinggian air dalam gelas penduga dan keluarkan air dalam gelas penduga untuk memastikan bahwa tingkat air minimal setengah gelas, terutama bersihkan gelas penduga dan pengaman nya.

4. Periksa pengukur tekanan dan catat apakah ada tekanan atau tidak.
5. Periksa bagian dapur *boiler* dengan menggunakan lampu atau senter untuk memastikan *boiler* telah dibersihkan.
6. Periksa semua kran *blowdown* dan pastikan tertutup dengan baik.
7. Periksa tangki *Feed Water* isi tangki sesuai dengan kebutuhan.
8. Periksa dan pastikan pintu *damper* dapat bekerja dengan baik. Pintu *damper* dapat digerakkan dengan bebas, jika tidak lakukan pelumasan dan perbaikan.
9. Lakukan pemeriksaan secara visual terhadap cerobong asap.
10. Lakukan pemeriksaan *dust collector* periksa secara berkala pengutipan abu dan dibuang pada tempatnya.
11. Periksa panel listrik *boiler* dan pastikan arus sudah tersedia. Periksa juga kerusakan pada panel listrik. Lakukan perbaikan bila perlu.
12. Aktifkan *Conveyor* untuk mensuplai bahan bakar ke ruang bakar.
13. Aktifkan IDF (*Induced Draft Fan*) untuk menghisap gas hasil sisa pembakaran yang berada di dalam ruang bakar.
14. Aktifkan SFDF (*Secondary Forced Draft Fan*) untuk meniup bahan bakar agar bahan bakar tidak menumpuk pada pintu ruang bakar.
15. Aktifkan *Feed Water Pump* untuk mengisi air ke dalam drum atas sampai mencapai level 50% berisi dengan air.
16. Aktifkan FDF (*Forced Draft Fan*) untuk mensuplai kebutuhan udara pembakaran yang ada di dalam ruang bakar.
17. Mulai pembakaran sampai mencapai temperatur kerja *boiler*.
18. Tunggu *boiler* mencapai temperatur dan tekanan kerja yang ditentukan.
19. Setelah tekanan dan temperatur kerja tercapai, lakukan pengambilan data parameter unjuk kerja *boiler* melalui monitor pada *panel control boiler*.

20. Catat hasil pengukuran yang terdapat pada monitor alat ukur yang digunakan pada saat *boiler* beroperasi.

3.5 Hasil Dan Pembahasan.

Data - data unjuk kerja *boiler* yang didapat dari hasil pengujian yang dilakukan di PT. Rohul Sawit Industri, setelah itu di lakukan analisa akan mendapatkan hasil, kemudian hasil tersebut dijadikan sebagai pembahasan untuk kesimpulan dari analisa unjuk kerja *boiler* kapasitas 45 ton uap/jam di PT. Rohul Sawit Industri.

3.6 Kesimpulan.

Setelah didapatkan hasil dan dilakukan pembahasan, maka akan mendapatkan kesimpulan dari analisa unjuk kerja *boiler* kapasitas 45 ton uap/jam di PT. Rohul Sawit Industri ini. Kesimpulan inilah yang kemudian di cocokkan dengan tujuan penelitian.

3.7 Jadwal Kegiatan Penelitian.

Agar penelitian tentang analisa unjuk kerja *boiler* kapasitas 45 ton uap/jam di PT. Rohul Sawit industri ini dapat berjalan sesuai waktu yang ditentukan, maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan Penelitian.

Jadwal Kegiatan Penelitian																				
Jenis Kegiatan	Bulan																			
	September				Oktober				November				Desember				Januari			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pembuatan proposal	■	■	■	■	■	■	■	■												
Studi Literatur									■	■	■	■	■	■	■	■				
Pengambilan Data													■	■	■	■	■	■	■	■
Analisa data																	■	■	■	■

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Unjuk Kerja *Boiler* Pada Awal Operasi

Boiler Takuma N1300 yang digunakan di PT. Rohul Sawit Industri beroperasi pertama kali yaitu pada tanggal 21 Desember 2016. Unjuk Kerja *boiler* pada awal operasi adalah sebagai berikut :

4.1.1 Kebutuhan Bahan Bakar (W_{fuel})

Banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan ketel uap (*boiler*) untuk menghasilkan uap dengan kondisi yang diinginkan dapat dihitung dengan rumus :

Diketahui : m_u (*steam flow*) = 40360 kg/jam (di rata-ratakan)

T (*feed water*) = 90 °C

P (tekanan *boiler*) = 21,9 bar

T (uap jenuh) = 215 °C

T (*superheater*) = 290 °C

h_1 (enthalpy uap jenuh) = 2800,3 kJ/kg (dari tabel uap jenuh dan interpolasi).

h_2 (enthalpy *superheater*) = 2999,6 kJ/kg (dari tabel uap panas lanjut dan interpolasi).

LHV (*low heating value*) = 6885,03 kJ/kg

η (efisiensi *boiler*) = 0,85

$$\begin{aligned} W_{fuel} &= \frac{m_u(h_2 - h_1)}{\eta \cdot LHV} \quad (\text{kg/jam}) \dots\dots\dots \text{Pers 2.3} \\ &= \frac{40360(2999,6 - 2800,3)}{0,85 \times 6885,03} \\ &= 1374,46 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Perbandingan penggunaan bahan bakar *boiler* dimana yaitu 70 % serabut dan 30 % cangkang. Maka jumlah serabut yang digunakan $1374,46 \times 70 \% = 962,12$ kg/jam, dan jumlah cangkang yang digunakan $1374,46 \times 30 \% = 412,33$ kg/jam.

4.1.2 Kalor Yang Dibutuhkan Boiler (Q).

Besarnya kalor pembakaran yang dihasilkan pada ruang bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 Q &= m^u \times \Delta h \text{ (kJ/jam)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.4} \\
 &= 40360 \times (2999,6 - 2800,3) \\
 &= 8043748 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

4.1.3 Panas Yang Diserap Dalam Dapur (Q_f).

$$\begin{aligned}
 Q_f &= W_f \cdot \text{LHV} \cdot n_f \text{ (kJ/jam)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.5} \\
 &= 1374,46 \text{ kg/jam} \times 6885,03 \text{ kJ/kg} \times 0,90 \\
 &= 8516878,5 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

Sebagian dari panas tersebut dibawa keluar gas asap meninggalkan dapur pada suhu tinggi sebesar :

$$\begin{aligned}
 Q_g &= W_f \cdot V_g \cdot C_p \cdot T_g \text{ (kJ/jam)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.6} \\
 &= 1374,46 \text{ kg/jam} \times 7,46 \text{ nm}^3/\text{kg} \times 1,0048 \text{ kJ/kg} \times 330^\circ\text{C} \\
 &= 3397180,21 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

4.1.4 Kebutuhan Udara Pembakaran

Dimisalkan per 1 kg bahan bakar mengandung Carbon (C) 0,435 kg, Hidrogen (H_2) 0,053 kg, Sulfur (S) 0,015 kg.

Jumlah Oksigen yang dibutuhkan :

$$O_2 = (0,435 \text{ kg} \times 2,67 + 0,053 \times 8 + 0,015 \times 1)$$

$$= 1,600 \text{ kg } O_2$$

Dimisalkan kandungan N sebanyak 1 % dan 12,2 % Oksigen, sehingga di dalam 1 kg bahan bakar terdapat 0,122 kg O_2 .

Dengan demikian Oksigen yang dibutuhkan hanya :

$$= 1,600 \text{ kg } O_2 - 0,122 \text{ kg } O_2$$

$$= 1,478 \text{ kg } O_2$$

Udara 1 kg mengandung 0,231 kg O_2 , sehingga udara teoritis yang dibutuhkan :

$$U_{og} = 1,478 : 0,231 \text{ kg udara/kg bahan bakar}$$

$$= 6,39 \text{ kg udara/kg bahan bakar}$$

Udara 1 nm^3 Pada 0^0 beratnya 1,29 kg, sehingga :

$$U_{ov} = 6,39 : 1,29 \text{ } nm^3 \text{ udara/kg bahan bakar}$$

$$= 4,95 \text{ } nm^3 \text{ udara/kg bahan bakar}$$

Dari ilmu kimia diketahui bahwa 12 kg C, 4 kg H, 32 kg S, masing-masing memerlukan 1 kg.mol oksigen atau 22,4 nm^3 oksigen, sehingga dapat juga dihitung dengan cara :

$$O_2 = \left(\frac{0,435}{12} + \frac{0,053}{4} + \frac{0,015}{32} \right) \times 22,4 \text{ } nm^3 O_2$$

$$= 1,119 \text{ } nm^3 O_2$$

Telah ada sebanyak 0,122 kg O_2 dalam 1 kg bahan bakar, atau sebanyak :

$$= 0,122 \times (22,4 : 32) \text{ } nm^3 O_2$$

$$= 0,085 \text{ } nm^3 O_2$$

Sehingga O_2 yang dibutuhkan hanya :

$$= 1,119 \text{ m}^3 O_2 - 0,085 \text{ m}^3 O_2$$

$$= 1,034 \text{ nm}^3 O_2$$

Dengan demikian jumlah udara teoritis yang dibutuhkan adalah :

$$U_{ov} = \frac{100}{21} \times O_2 \text{ (nm}^3\text{)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.7}$$

$$= \frac{100}{21} \times 1,034 \text{ nm}^3 O_2$$

$$= 4,92 \text{ nm}^3 O_2$$

Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna dari bahan bakar dibutuhkan penambahan udara sebesar aktual dapat di peroleh :

$$U_{ov \text{ (aktual)}} = 1,17 \times U_{ov \text{ (teo)}} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.8}$$

$$= 1,17 \times 4,92 \text{ nm}^3 O_2$$

$$= 5,756 \text{ nm}^3 \text{ udara/kg bahan bakar}$$

Kebutuhan udara sesungguhnya :

$$U_{ov \text{ (total)}} = U_{ov \text{ (aktual)}} \times W_{fuel} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.9}$$

$$= 5,756 \text{ nm}^3 \text{ udara/kg bahan bakar} \times 1374,46 \text{ kg/jam}$$

$$= 7911,39 \text{ kg udara/jam}$$

4.1.5 Efisiensi

Daya guna (*Efisiensi Boiler*) adalah perbandingan antara konsumsi panas dengan suplai panas, untuk mencari efisiensi *boiler* maka digunakan persamaan sebagai berikut :

Diketahui : $T_1 = 90 \text{ }^\circ\text{C} = 194 \text{ }^\circ\text{F}$

$$h_1 = 2660,1 \text{ kJ/kg}$$

$$T_2 = 101 \text{ }^\circ\text{C} = 213,8 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$h_2 = 2677,6 \text{ kJ/kg}$$

$$T_3 = 290 \text{ }^\circ\text{C} = 554 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$h_3 = 2999,6 \text{ kJ/kg}$$

$$T_4 = 120 \text{ }^\circ\text{C} = 248 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$h_4 = 2706,3 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_b = \frac{Q_{\text{berguna}}}{Q_{\text{masuk}}} \times 100\% \dots\dots\dots \text{Pers. 2.10}$$

Atau

$$\begin{aligned} \eta_b &= \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)}{(h_3 - h_2)} \times 100\% \\ &= \frac{(2660,1 - 2677,6) + (2999,6 - 2706,3)}{(2999,6 - 2677,6)} \times 100\% \\ &= 0,85 \times 100\% \\ &= 85\% \end{aligned}$$

4.1.6 Kapasitas Boiler

Kapasitas adalah kemampuan maksimum boiler untuk menghasilkan uap dalam setiap ton/jam. Untuk mencari kapasitas boiler persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Q_b = \frac{\eta_b \times W_{\text{fuel}} \times LHV}{\Delta \text{Enthalpi}} \text{ (kg/jam)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.11}$$

$$= \frac{0,85 \times 1374,46 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 6885,03 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{(2800,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2660,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})}$$

$$= 44827,35 \text{ kg/jam} = 44,82 \text{ Ton/jam}$$

4.2 Unjuk Kerja Boiler Pada Saat ini.

Data hasil pengujian yang digunakan ialah pada saat penelitian di PT. Rohul Sawit Industri pada tanggal 12 Januari 2022. Unjuk kerja boiler pada saat ini ialah sebagai berikut :

4.2.1 Kebutuhan Bahan Bakar (W_{fuel})

Banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan ketel uap (*boiler*) untuk menghasilkan uap dengan kondisi yang diinginkan dapat dihitung dengan rumus :

Diketahui : m_u (*steam flow*) = 39600 kg/jam

T (*feed water*) = 90 °C

P (tekanan *boiler*) = 21,0 bar

T (uap jenuh) = 213,5 °C

T (*superheater*) = 278 °C

h_1 (enthalpy uap jenuh) = 2799,5 kJ/kg (dari tabel uap jenuh dan interpolasi).

h_2 (enthalpy *superheater*) = 2971,4 kJ/kg (dari tabel uap panas lanjut dan interpolasi).

LHV (*low heating value*) = 6885,03 kJ/kg

η (efisiensi *boiler*) = 0,80

$$W_{fuel} = \frac{m_u(h_2 - h_1)}{\eta \cdot LHV} \quad (\text{kg/jam}) \dots\dots\dots \text{Pers 2.3}$$

$$= \frac{39600 (2971,4 - 2799,5)}{0,80 \times 6885,03}$$

$$= 1235,87 \text{ kg/jam}$$

Perbandingan penggunaan bahan bakar *boiler* dimana yaitu 70 % serabut dan 30 % cangkang. Maka jumlah serabut yang digunakan $1235,87 \times 70 \% = 865,1$ kg/jam, dan jumlah cangkang yang digunakan $1235,87 \times 30 \% = 370,76$ kg/jam.

4.2.2 Kalor Yang Dibutuhkan Boiler (Q).

Besarnya kalor pembakaran yang dihasilkan pada ruang bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 Q &= m^u \times \Delta h \text{ (kJ/jam)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.4} \\
 &= 39600 \times (2971,4 - 2799,5) \\
 &= 6807240 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

4.2.3 Panas Yang Diserap Dalam Dapur (Q_f).

$$\begin{aligned}
 Q_f &= W_f \cdot \text{LHV} \cdot n_f \text{ (kJ/jam)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.5} \\
 &= 1235,87 \text{ kg/jam} \times 6885,03 \text{ kJ/kg} \times 0,90 \\
 &= 7658101,82 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

Sebagian dari panas tersebut dibawa keluar gas asap meninggalkan dapur pada suhu tinggi sebesar :

$$\begin{aligned}
 Q_g &= W_f \cdot V_g \cdot C_p \cdot T_g \text{ (kJ/jam)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.6} \\
 &= 1235,87 \text{ kg/jam} \times 7,46 \text{ nm}^3/\text{kg} \times 1,0048 \text{ kJ/kg} \times 330,86^\circ\text{C} \\
 &= 3057068,59 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

4.2.4 Kebutuhan Udara Pembakaran

Dimisalkan per 1 kg bahan bakar mengandung Carbon (C) 0,435 kg, Hidrogen (H₂) 0,053 kg, Sulfur (S) 0,015 kg.

Jumlah Oksigen yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 O_2 &= (0,435 \text{ kg} \times 2,67 + 0,053 \times 8 + 0,015 \times 1) \\
 &= 1,600 \text{ kg } O_2
 \end{aligned}$$

Dimisalkan kandungan N sebanyak 1 % dan 12,2 % Oksigen, sehingga di dalam 1 kg bahan bakar terdapat 0,122 kg O₂.

Dengan demikian Oksigen yang dibutuhkan hanya :

$$= 1,600 \text{ kg } O_2 - 0,122 \text{ kg } O_2$$

$$= 1,478 \text{ kg } O_2$$

Udara 1 kg mengandung 0,231 kg O_2 , sehingga udara teoritis yang dibutuhkan :

$$U_{og} = 1,478 : 0,231 \text{ kg udara/kg bahan bakar}$$

$$= 6,39 \text{ kg udara/kg bahan bakar}$$

Udara 1 nm^3 Pada 0⁰ beratnya 1,29 kg, sehingga :

$$U_{ov} = 6,39 : 1,29 \text{ nm}^3 \text{ udara/kg bahan bakar}$$

$$= 4,95 \text{ nm}^3 \text{ udara/kg bahan bakar}$$

Dari ilmu kimia diketahui bahwa 12 kg C, 4 kg H, 32 kg S, masing-masing memerlukan 1 kg.mol oksigen atau 22,4 nm^3 oksigen, sehingga dapat juga dihitung dengan cara :

$$O_2 = \left(\frac{0,435}{12} + \frac{0,053}{4} + \frac{0,015}{32} \right) \times 22,4 \text{ nm}^3 O_2$$

$$= 1,119 \text{ nm}^3 O_2$$

Telah ada sebanyak 0,122 kg O_2 dalam 1 kg bahan bakar, atau sebanyak :

$$= 0,122 \times (22,4 : 32) \text{ nm}^3 O_2$$

$$= 0,085 \text{ nm}^3 O_2$$

Sehingga O_2 yang dibutuhkan hanya :

$$= 1,119 \text{ m}^3 O_2 - 0,085 \text{ m}^3 O_2$$

$$= 1,034 \text{ nm}^3 O_2$$

Dengan demikian jumlah udara teoritis yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned}
 U_{ov} &= \frac{100}{21} \times O_2 \text{ (nm}^3\text{)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.7} \\
 &= \frac{100}{21} \times 1,034 \text{ nm}^3 O_2 \\
 &= 4,92 \text{ nm}^3 O_2
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna dari bahan bakar dibutuhkan penambahan udara sebesar aktual dapat di peroleh :

$$\begin{aligned}
 U_{ov \text{ (aktual)}} &= 1,17 \times U_{ov \text{ (teo)}} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.8} \\
 &= 1,17 \times 4,92 \text{ nm}^3 O_2 \\
 &= 5,756 \text{ nm}^3 \text{udara/kg bahan bakar}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan udara sesungguhnya :

$$\begin{aligned}
 U_{ov \text{ (total)}} &= U_{ov \text{ (aktual)}} \times W_{fuel} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.9} \\
 &= 5,756 \text{ nm}^3 \text{udara/kg bahan bakar} \times 1235,87 \text{ kg/jam} \\
 &= 7113,66 \text{ kg udara/jam}
 \end{aligned}$$

4.2.5 Efisiensi

Daya guna (*Efisiensi Boiler*) adalah perbandingan antara konsumsi panas dengan suplai panas, untuk mencari efisiensi *boiler* maka digunakan persamaan sebagai berikut :

Diketahui : $T_1 = 90 \text{ }^\circ\text{C} = 194 \text{ }^\circ\text{F}$	$h_1 = 2660,1 \text{ kJ/kg}$
$T_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C} = 212 \text{ }^\circ\text{F}$	$h_2 = 2676,1 \text{ kJ/kg}$
$T_3 = 278 \text{ }^\circ\text{C} = 532,4 \text{ }^\circ\text{F}$	$h_3 = 2971,4 \text{ kJ/kg}$
$T_4 = 110 \text{ }^\circ\text{C} = 230 \text{ }^\circ\text{F}$	$h_4 = 2691,5 \text{ kJ/kg}$

$$\eta_b = \frac{Q_{\text{berguna}}}{Q_{\text{masuk}}} \times 100\% \dots\dots\dots \text{Pers. 2.10}$$

Atau

$$\begin{aligned} \eta_b &= \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)}{(h_3 - h_2)} \times 100\% \\ &= \frac{(2660,1 - 2676,1) + (2971,4 - 2691,5)}{(2971,4 - 2691,5)} \times 100\% \\ &= 0,80 \times 100\% \\ &= 80\% \end{aligned}$$

4.2.6 Kapasitas Boiler

Kapasitas adalah kemampuan maksimum boiler untuk menghasilkan uap dalam setiap ton/jam. Untuk mencari kapasitas boiler persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_b &= \frac{\eta_b \times W_{\text{fuel}} \times LHV}{\Delta \text{Enthalpi}} \text{ (kg/jam)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.11} \\ &= \frac{0,80 \times 1235,87 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 6885,03 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{2799,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2660,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \\ &= 43150,11 \text{ kg/jam} = 43,15 \text{ Ton/jam} \end{aligned}$$

4.3 Perbandingan Unjuk Kerja Boiler Pada Awal Operasi Dengan Unjuk Kerja Boiler Pada Saat Ini

Dari hasil perhitungan unjuk kerja boiler pada awal operasi dengan unjuk kerja boiler pada saat ini, terdapat penurunan unjuk kerja boiler pada beberapa parameter. Perbedaan parameter tersebut dapat dilihat pada grafik unjuk kerja berikut ini.

4.3.1 Perbandingan Kebutuhan Bahan Bakar (W_{fuel})

Grafik perbandingan kebutuhan bahan bakar (W_{fuel}) dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.

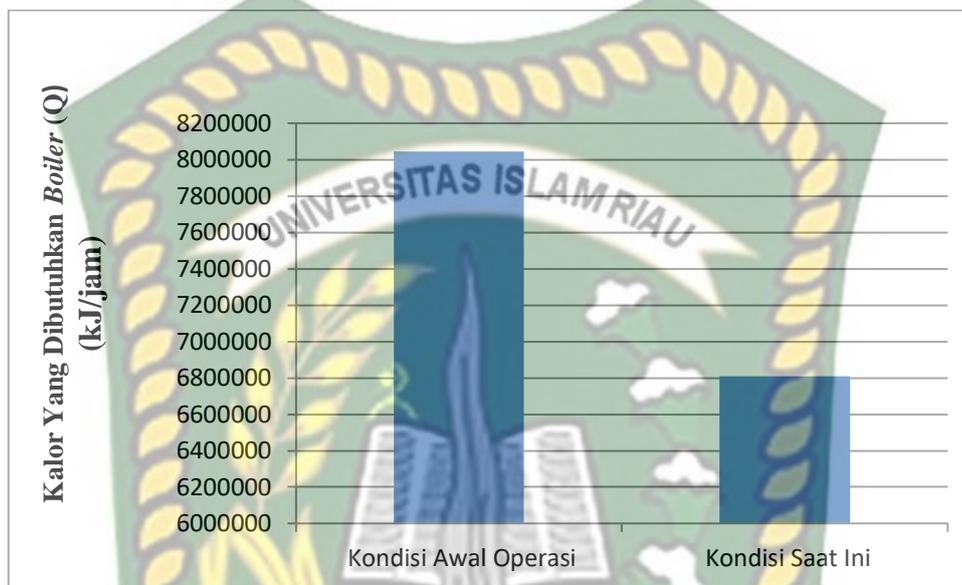


Gambar 4.1 Grafik perbandingan kebutuhan bahan bakar (W_{fuel})

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat perbandingan kebutuhan bahan bakar pada awal operasi dengan kebutuhan bahan bakar pada saat ini. Pada awal operasi kebutuhan bakar sebesar 1374,46 kg/jam sedangkan pada saat ini kebutuhan bahan bakar sebesar 1235,87 kg/jam, terdapat penurunan sebesar 138,59 kg/jam. Penurunan kebutuhan bahan bakar tersebut disebabkan oleh penurunan aliran uap (*steam flow*). Pada awal operasi *steam flow* rata-rata perhari sebesar 40360 kg/jam sedangkan pada saat ini 39600 kg/jam. Semakin besar *steam flow* maka nilai dari kebutuhan bahan bakar semakin besar, dan juga sebaliknya semakin kecil *steam flow* maka akan semakin kecil pula kebutuhan bahan bakar pada boiler.

4.3.2 Perbandingan Kalor Yang Dibutuhkan *Boiler* (Q)

Grafik perbandingan kalor yang dibutuhkan *boiler* (Q) dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini.

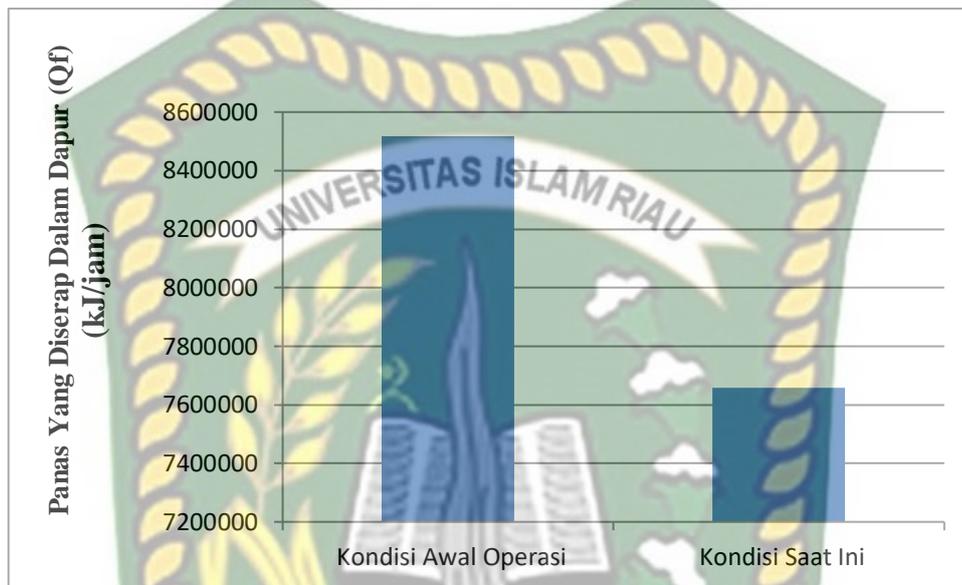


Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Kalor Yang Dibutuhkan *Boiler* (Q)

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat perbandingan kalor yang dibutuhkan boiler pada awal operasi dengan saat ini. Pada awal operasi kalor yang dibutuhkan boiler sebesar 8043748 kJ/jam, sedangkan pada saat ini sebesar 6807240 kJ/jam, terdapat penurunan sebesar 1236508 kJ/jam. Penurunan tersebut disebabkan oleh penurunan aliran air umpan (*water flow*) masuk boiler yang pada awal operasi rata-rata perhari sebesar 48010 kg/jam sedangkan pada saat ini 45570 kg/jam. Semakin besar *water flow* maka semakin besar kalor yang dibutuhkan boiler, dan sebaliknya semakin kecil *water flow* maka semakin kecil pula kalor yang dibutuhkan boiler.

4.3.3 Perbandingan Panas Yang Diserap Dalam Dapur (Q_f)

Grafik perbandingan panas yang diserap dalam dapur dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini.

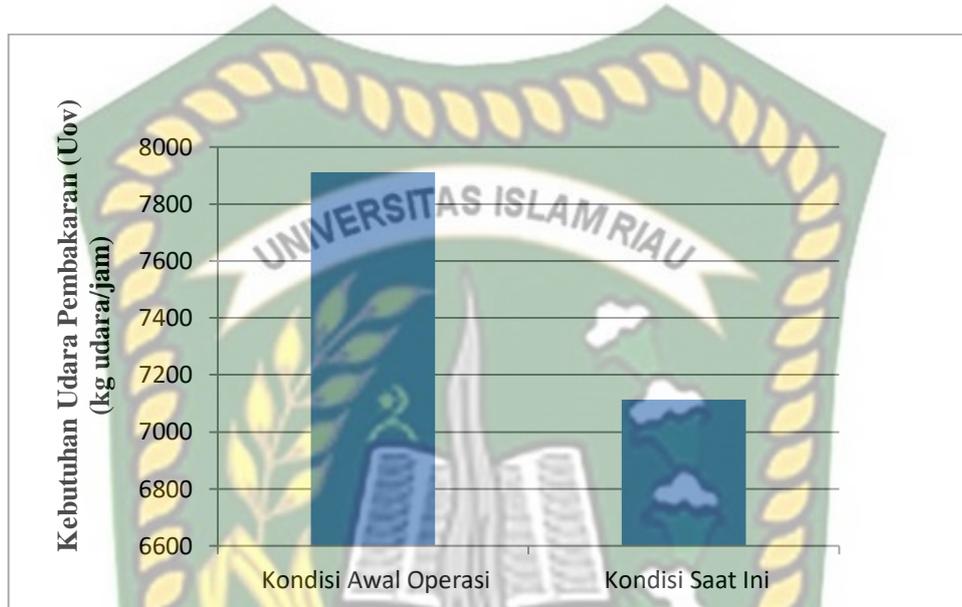


Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Panas Yang Diserap Dalam Dapur (Q_f)

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat perbandingan panas yang diserap dalam dapur pada awal operasi dengan saat ini. Pada awal operasi harga panas yang diserap dalam dapur sebesar 8516878,5 kJ/jam sedangkan pada saat ini sebesar 7658101,82 kJ/jam, selisih nilai panas yang diserap dalam dapur ialah sebesar 858776,68 kJ/jam. Penurunan nilai panas yang diserap dalam dapur disebabkan oleh penurunan dari kebutuhan bahan bakar boiler (W_{fuel}). Semakin besar nilai dari kebutuhan bahan bakar maka nilai panas yang diserap dalam dapur semakin besar, begitu juga sebaliknya semakin kecil nilai dari kebutuhan bahan bakar maka nilai kalor yang diserap dalam dapur semakin kecil juga.

4.3.4 Perbandingan Kebutuhan Udara Pembakaran (U_{OV})

Grafik perbandingan kebutuhan udara pembakaran (U_{OV}) pada awal operasi dengan pada saat ini, dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut ini.

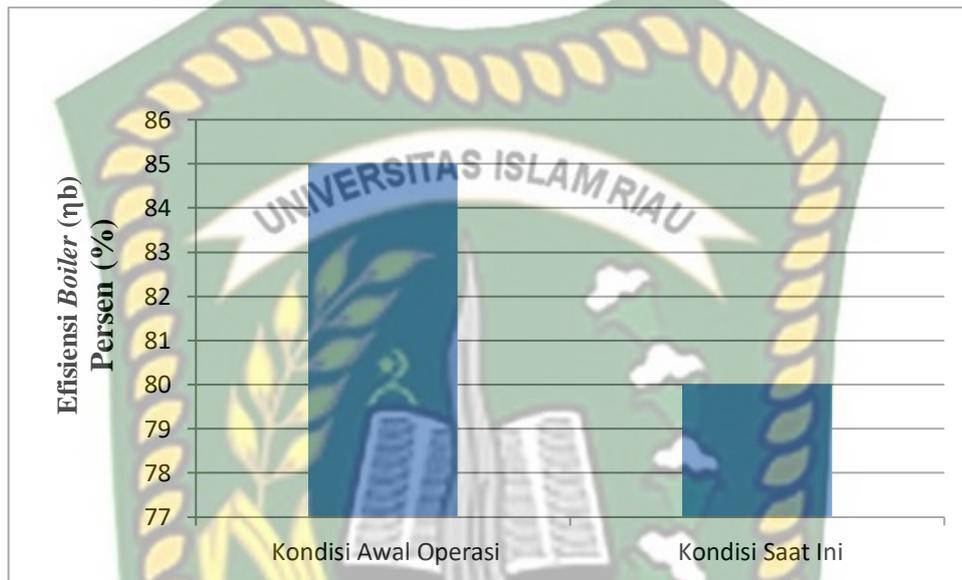


Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Kebutuhan Udara Pembakaran (U_{OV})

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat grafik perbandingan kebutuhan udara pembakaran (U_{OV}). Pada awal operasi kebutuhan udara pembakaran sebesar 7911,39 kg udara/jam, sedang pada saat ini sebesar 7113,66 kg udara/jam, selisih harga kebutuhan udara pembakaran yaitu sebesar 797,73 kg udara/jam. Penurunan kebutuhan udara pembakaran disebabkan oleh seiring dengan menurunnya nilai dari kebutuhan bahan bakar (W_{fuel}). Semakin besar bahan bakar yang masuk ke boiler maka kebutuhan udara pembakaran semakin besar, dan juga sebaliknya semakin kecil bahan bakar yang masuk ke boiler maka kebutuhan udara untuk proses pembakaran akan semakin kecil pula.

4.3.5 Perbandingan Efisiensi Boiler (η_b)

Grafik perbandingan efisiensi boiler (η_b) pada awal operasi dengan pada saat ini dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini.

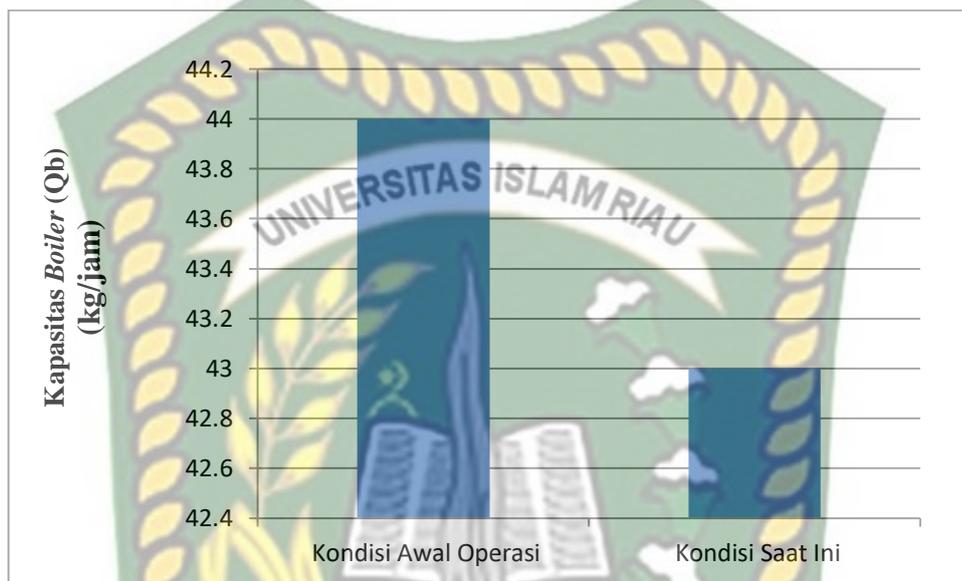


Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Efisiensi Boiler (η_b)

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat grafik perbandingan efisiensi boiler (η_b) pada awal operasi dengan pada saat ini. Pada awal operasi efisiensi boiler sebesar 85 %, sedangkan pada saat ini efisiensi boiler sebesar 80 %. Selisih nilai efisiensi boiler sebesar 5 %. Penurunan tersebut disebabkan oleh penurunan pada temperatur deaerator (T_2), temperatur superheater (T_3) dan temperatur uap sisa (T_4). Nilai dari temperatur tersebut pada awal operasi ialah sebagai berikut, $T_2 = 101$ °C, $T_3 = 290$ °C, $T_4 = 120$ °C. Sedangkan untuk nilai temperatur pada saat ini yaitu $T_2 = 100$ °C, $T_3 = 278$ °C, $T_4 = 110$ °C. Penurunan efisiensi boiler tidak terlalu besar karena harga temperatur feed water (T_1) kontinu yaitu sebesar 90 °C. Penurunan temperatur tersebut disebabkan oleh lamanya proses perubahan air menjadi uap yang terjadi didalam upper drum, dikarenakan kurang sempurnanya kualitas panas yang dihasilkan dari proses pembakaran didalam ruang bakar.

4.3.6 Perbandingan Kapasitas boiler (Q_b)

Grafik perbandingan kapasitas boiler (Q_b) pada awal operasi dengan pada saat ini, dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan kapasitas Boiler (Q_b)

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat grafik perbandingan kapasitas boiler (Q_b) pada awal operasi dengan pada saat ini. Pada awal operasi kapasitas boiler sebesar 44,82 Ton/jam, sedangkan kapasitas boiler pada saat ini sebesar 43,15 Ton/jam. Selisih nilai kapasitas boiler sebesar 1,67 Ton/jam. Penurunan harga tersebut disebabkan oleh penurunan efisiensi boiler dan kebutuhan bahan bakar boiler. Karena bahan bakar yang digunakan menurun menyebabkan berkurangnya temperatur yang dihasilkan dari proses pembakaran. Penurunan temperatur tersebut berpengaruh terhadap nilai enthalpy uap jenuh yang dihasilkan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu sebagai berikut :

1. Unjuk kerja *boiler* pada awal operasi ialah sebagai berikut, Kebutuhan bahan bakar (W_{fuel}) adalah sebesar 1374,46 kg/jam, Kalor yang dibutuhkan *boiler* (Q) adalah sebesar 8043748 kJ/jam, Panas yang diserap dalam dapur (Q_f) adalah sebesar 8516878,5 kJ/jam, Kebutuhan udara pembakaran (U_{OV}) adalah sebesar 7911,39 kg udara/jam. Efisiensi *boiler* (η_b) adalah sebesar 85 %, Kapasitas *boiler* (Q_b) adalah sebesar 44,82 Ton/jam. Unjuk kerja *boiler* pada saat ini ialah sebagai berikut, Kebutuhan bahan bakar (W_{fuel}) adalah sebesar 1235,87 kg/jam, Kalor yang dibutuhkan *boiler* (Q) adalah sebesar 6807240 kJ/jam, Panas yang diserap dalam dapur (Q_f) adalah sebesar 7658101,82 kJ/jam, Kebutuhan udara pembakaran (U_{OV}) adalah sebesar 7113,66 kg udara/jam, Efisiensi *boiler* (η_b) adalah sebesar 80 %, Kapasitas *boiler* (Q_b) adalah sebesar 43,15 Ton/jam.
2. Unjuk kerja *boiler* pada awal operasi dengan unjuk kerja *boiler* pada saat ini setelah dilakukan perbandingan terdapat penurunan, penurunan pada parameter unjuk kerja ialah sebagai berikut, Kebutuhan bahan bakar (W_{fuel}) penurunannya sebesar 138,59 kg/jam, Kalor yang dibutuhkan *boiler* (Q) penurunannya sebesar 1236508 kJ/jam, Panas yang diserap dalam dapur (Q_f) penurunannya sebesar 858776,68 kJ/jam, Kebutuhan udara pembakaran (U_{OV}) penurunannya sebesar 797,73 kg udara/jam, Efisiensi *boiler* (η_b) penurunannya sebesar 5 %, Kapasitas *boiler* (Q_b) penurunannya sebesar 1,67 Ton/jam.

5.2 Saran

Dari penelitian dan pengambilan data yang telah dilakukan maka penulis memiliki beberapa saran sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya pada saat pengambilan data di kawasan pabrik kelapa sawit agar memperhatikan aturan-aturan yang ada, terutama untuk selalu *safety*, karena pabrik kelapa sawit merupakan area rawan kecelakaan kerja.
2. Dikarenakan umur *boiler* yang cukup lama dan selalu beroperasi setiap hari, maka harus dilakukan perawatan yang optimal agar kinerja *boiler* dalam kondisi baik.
3. Agar proses produksi terus berjalan, maka hendaknya lebih meningkatkan mutu perawatan terhadap mesin-mesin produksi pendukung kinerja *boiler*.
4. Untuk penelitian selanjutnya bisa membandingkan pengaruh ph air umpan *boiler* terhadap unjuk kerja *boiler*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfianisa. (2021). Diplomasi Indonesia Dalam Merespon kebijakan Red II. Mahasiswa Magister Hubungan Internasional. Universitas Paramadina.
- Cahyadi. (2015). PLTU Batu Bara Superkritikal Yang Efisien. Banten. Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi (BPPT).
- Djokosetyardjo. (2003). Ketel Uap. Cetakan Kelima. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Darma, et al. (2021). Penggunaan Metode *Failure Mode Effect Analysis* Kegagalan Dan Pemilihan Tindakan Perawatan (Kasus Stasiun Pabrik Kelapa Sawit Langling). Departement Produksi Pabrik Kelapa Sawit Langling. Institut Teknologi Sains Bandung.
- Haryadi. (2010). Boiler Dan Turbin. Program Studi Teknik Mesin. Politeknik Negeri Bandung.
- Holman. (2010). *Heat Transfer*. Edisi Kesepuluh. Mcgraw-Hill.
- Junaidi. (2011). Analisa Unjuk Kerja Boiler Tipe Pipa Air Melalui Gas Buang. Universitas Harapan Medan.
- Muin. (1988). Pesawat Konversi Energi 1 (Ketel Uap). Edisi Pertama. Jakarta : Rajawali.
- Nainggolan. (1987). Termodinamika. Cetakan Kelima. Bandung : CV Armico.
- Rao. (1933). *Companion Guide To The ASME Boiler & Pressure Codes*. Volume Satu. Edisi Kelima. New York : American Society Of Mechanical Engineers.
- Suryo, Siswanto. (2015). Analisa Efisiensi Exergi Boiler Wanson III Pada Unit Kilang Di Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Minyak Dan Gas Bumi (Pusdiklat Migas) Cepu. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro.

Satibi, et al. (2013). Mesin Penggerak Utama. Cetakan Pertama. Yogyakarta : Graha Ilmu.

Subagyo. (2018). Sistem Pembangkit Dan Turbin Uap. Fakultas Teknik. Universitas Lambung Mangkurat.

Sitompul. (1996). Prinsip – prinsip Konversi Energi. Cetakan Keempat. PT. Gelora Aksara Pratama : Erlangga.

Winata. (2016). Analisa *Performance Water Tube Boiler* Dengan Menggunakan Bahan Bakar Fiber Dan Cangkang Sawit Di PKS. Sei Pagar. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Pekanbaru : Universitas Islam Riau.

Yuliani, et al. (2017). Studi Unjuk Kerja Boiler Kapasitas 18 Ton/Jam Di Lingkungan Pabrik Kelapa Sawit. Jurusan Teknik Mesin. Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru.

<https://www.bps.go.id/indicator/54/1>

<https://mr-sawit.blogspot.com/2017/10/fungsi-dan-komponen-boiler.html?m=1>

<http://blog.ub.ac.id/2013/03/04/pressure-gauge/>

https://indonesian.alibaba.com/promotion/promotion_steam%20temperatur%20gauge-promotion-list.html

<https://nianur37.wordpress.com/2015/06/06/boiler-pipa-api-dan-boiler-pipa-air/>