

ANALISIS PENGARUH JENIS BAHAN BAKAR LIMBAH TERHADAP KINERJA TURBIN UAP SKALA PROTOTIPE

SKRIPSI

OLEH:

**HERBINTON MARTINUS SIMATUPANG
198130054**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 11/2/25

Access From (repository.uma.ac.id)11/2/25

HALAMAN JUDUL

ANALISIS PENGARUH JENIS BAHAN BAKAR LIMBAH TERHADAP KINERJA TURBIN UAP SKALA PROTOTIPE

SKRIPSI

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

OLEH:

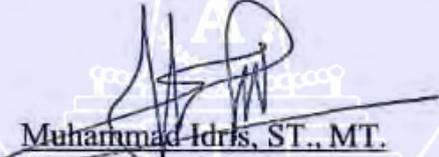
HERBINTON MARTINUS SIMATUPANG
198130054

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal	Analisis Pengaruh Baban Bakar Limbah Terhadap Kinerja Turbin Uap Skala Prototipe
Nama Mahasiswa	Herbinton Martinus Simatupang
Npm	1981 30054
Fakultas	Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Muhammad Idris, ST., MT.
Pembimbing


Dr. Agus Supriatno, ST., MT.
Dekan
FAKULTAS TEKNIK


Dr. Iswandi, S.T., MT.
Ka. Prodi

Tanggal lulus: Kamis, 19 September 2024

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 11/2/25

Access From (repository.uma.ac.id)11/2/25

HALAMAN PERNYATAAN

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

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

Medan, 29 Juli 2024



Herbinton Martinus Simatupang
198130054

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

KARYA ILMIAH

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/ESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

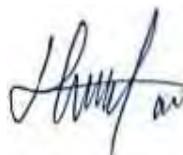
Nama	Herbinton Martinus Simatupang
NPM	198130054
Program Studi	Teknik mesin
Fakultas	Teknik
Jenis Karya	Tugas Akhir/Skripsi/esis

Demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul **ANALISIS PENGARUH JENIS BAHAN BAKAR LIMBAH TERHADAP KINERJA TURBIN UAP SKALA PROTOTIPE**.

Berserta perangkat yang ada (jika diperlukan) Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/foanatkan, mengotolab dalam bentuk pangtcalan dan data (database), merawat, dan memublik11sikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai pcuulis/pencipta dan sebagai pmililc bak cipta.

Demikian myalaan ini saya bual dengan sebenatnya.

Dibuat d
Pada tanggal 29 Juli 2024
Yang menyatakan



(Herbinton M. Simatupang)

ABSTRAK

Bahan bakar adalah suatu material yang bisa diubah menjadi energi dengan cara membakar bahan bakar tersebut karena menyimpan energi panas yang dapat dilepaskan dan dimanipulasi. Jenis bahan bakar limbah yang akan digunakan ialah limbah filter rokok, yang bertujuan untuk peneruh nilai kalor (LHV) bahan bakar terhadap laju konsumsi bahan bakar, serta mengevaluasi kinerja pembangkit turbin uap skala prototipe berbahan bakar limbah filter rokok. Pada penelitian ini metode yang digunakan eksperimen pada boiler skala prototipe menggunakan bahan bakar filter rokok serta pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode statistik dan *Analisis Of Variant*. Dalam hasil yang didapatkan bahwa laju konsumsi bahan bakar yang dihasilkan sebesar 22,57% pada tekanan 500 kPa, dan kinerja yang dihasilkan bahan bakar pada tekanan 700 kPa ialah, daya pompa 0,0019 kW, energi masuk 6,967 kW, daya turbin 2,730 kW, daya netto 2,728 kW, dan efisiensi thermal 39,16%. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahan bakar filter rokok memiliki efisiensi bahan bakar limbah filter rokok lebih tinggi dari pada cangkang kemiri.

Kata Kunci: Boiler, Laju Komsumsi, Kinerja Turbin.

A. BSTRACT

The aim of this research is to determine the energy efficiency of a prototype scale steam turbine generator using cigarette filter waste. The types of waste that will be used include cigarette filler waste, which aims to influence the calorific value (LHV) of the fuel on the rate of fuel consumption, as well as to influence the performance of a prototype scale steam turbine generator using cigarette filter waste. In this research, the method used was experimental on a prototype scale boiler using cigarette filter waste and data processing was carried out using statistical methods and Analysis of Variance. In the results obtained, the fuel consumption rate produced was 22.57% at a pressure of 500 kPa, and the performance of the fuel produced at a pressure of 700 kPa was, pump power 0.0019 kW, incoming energy 6.967 kW, turbine power 2.730 kW, net power 2.728 kW, and thermal efficiency 39.16%. In this study it can be concluded that cigarette filter waste has a higher efficiency of cigarette filter waste material than condenser shells.

Keywords: Boiler, Consumption Rate, Turbine Performance.

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Herbinon Martinus Simatupang dilahirkan di AEK Sigala-gala Kec. Ujung Batu, Kab. Padang Lawas Utara pada tanggal 04 maret 2001 dari bapak Berton Simatupang dan ibu Listeria Br. Simanjuntak. Penulis merupakan putra pertama dari dua bersaudara.

Tahun 2013 penulis menyelesaikan Pendidikan Dasar di SD Swasta Bina Artha, Kec. Simangambat, Kab. Padang Lawas Utara, tahun 2016 penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Swasta Bina Artha Kab. Padang Lawas Utara, tahun 2019 penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Negeri 1 Air Putih, Kab. Batu Bara Prov. Sumatera Utara, pada tahun 2019 penulis melanjutkan Pendidikan sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin di Universitas Medan Area.

Penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT. Sarana Agro Nusantara Unit Belawan di Jl. Ujung Baru, Belawan, kota medan, Prov. Sumatera Utara.

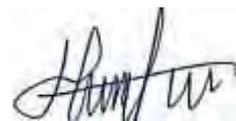
KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur Penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala kurnianya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah Energi Terbarukan dengan judul Analisis Pengaruh Jenis Bahan Bakar Limbah Terhadap Kinerja Turbin Uap Skala Prototipe.

Terimakasih Penulis sampaikan kepada Bapak Muhammad Idris, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan Penulis sampaikan kepada Ronyasi Simanjuntak, Rio Prasetyo, Sihol Albert Faloho dan Irfan yang telah membantu Penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu, serta seluruh Keluarga atas segala doa dan perhatian, saya ucapkan pada teman spesial saya yaitu Lela Anjeli Parbusip atas doa dan dukungannya dalam melaksanakan skripsi saya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir/ Skripsi/ Tesis ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat Penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir/ Skripsi/ Tesis ini. Penulis berharap Tugas Akhir/ Skripsi/ Tesis ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan Pendidikan maupun Masyarakat. Akhir kata Penulis ucapkan Terimakasih.

Penulis



Herbinton M. Simatupang
198130054

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAM PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
ABSTRAK	i
RIWAYAT HIDUP	i
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Hipotesis Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Bahan Bakar Biomassa.....	14
2.2. Pengertian Boiler	5
2.3. Siklus <i>Rankine</i>	7
2.4. Prinsip Kerja Boiler	14
2.5. Efisiensi Boiler	16
2.6. Proses Pembentukan Uap.....	20
2.7. Komsumsi Bahan Bakar Boiler	24
2.8. Panas Yang Masuk Dari Bahan Bakar.....	24
2.9. Kalor Yang Digunakan Air Untuk Menjadi Uap.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
3.2. Bahan dan Alat	27
3.3. Metode Penelitian	30
3.4. Populasi dan Sampel.....	30
3.5. Prosedur Kerja	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1. Hasil.....	33
4.2. Pembahasan	41
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	45
5.1. Simpulan.....	45
5.2. Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	48

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Waktu Kegiatan Penelitian	26
Tabel 3.2.	Sampel Penelitian	31
Tabel 4.1.	Hasil Bahan Bakar Limbah Filter Rokok	33
Tabel 4.2.	Hasil bahan bakar Cangkang Kemiri	33
Tabel 4.3.	Nilai Kalor Bahan Bakar	35
Table 4.4.	Perhitugn Hasil Penelitiaan	39



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bahan Bakar Filter Rokok	6
Gambar 2.2. <i>Fire Tube Boiler</i> (Boiler Pipa Api)	8
Gambar 2.3. <i>Water Tube Boiler</i> (Boiler Pipa Air)	8
Gambar 2.4. Siklus <i>Rankine</i> .	9
Gambar 2.5. Diagram <i>P-H</i> Dan <i>T-S</i> .	10
Gambar 2.6. Proses Aktual Pada Turbin Dan Pompa	13
Gambar 2.7. <i>Head Loss</i> Pada Boiler	20
Gambar 2.8. Grafik Proses Pembentukan Uap	22
Gambar 3.1. Filter Rokok	27
Gambar 3.2. Boiler Pipa Api Skala Prototipe	27
Gambar 3.3. <i>Pressure Gauge</i>	28
Gambar 3.4. <i>Termometer</i>	28
Gambar 3.5. <i>Sight Glass</i>	29
Gambar 3.6. <i>Safety Valve</i>	29
Gambar 3.7. Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1. Siklus Rankine	34
Gambar 4.2. Grafik Tekanan, Laju Aliran Massa Dan Daya Pompa	42
Gambar 4.3. Grafik Tekanan, Daya Turbin dan Daya Netto	42
Gambar 4.4. Grafik Tekanan dan Energi Masuk	43

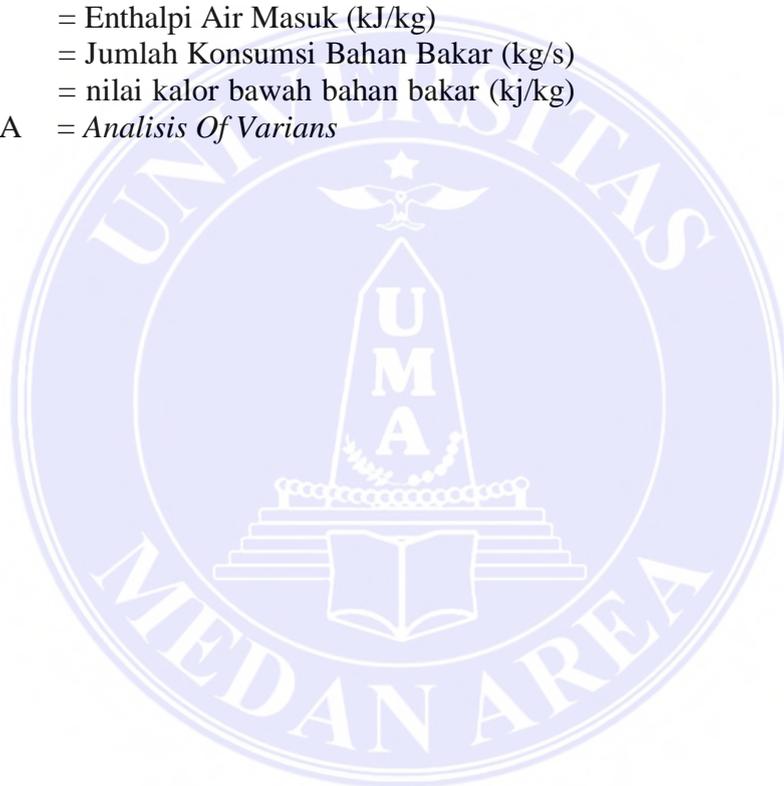
DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>A-5 saturated water pressure table</i>	48
Lampiran 2. <i>A-5 saturated water pressure</i>	48
Lampiran 3. <i>Anova: Single Factor</i>	48



DAFTAR NOTASI

bb	= Nilai Massa Bahan Bakar
Q _{in}	= Panas yang masuk
kJ/s	= Besaran Daya
kg/cm ²	= Tekanan
°C	= Temperatur
K	= Temperatur
W _p	= Kerja Pompa
W _t	= Kerja Turbin
kPa	= satuan tekanan (kilopascal)
η	= Efisiensi (%)
h ₃	= Enthalpi Uap Keluar (kJ/kg)
h ₁	= Enthalpi Air Masuk (kJ/kg)
mf	= Jumlah Konsumsi Bahan Bakar (kg/s)
LHV	= nilai kalor bawah bahan bakar (kj/kg)
ANOVA	= <i>Analisis Of Varians</i>



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Limbah merupakan suatu permasalahan yang banyak mendapatkan perhatian dari Masyarakat karena banyak nya limbah yang berserakan di sekitar lingkungan Masyarakat. Limbah tersebut seperti plastic, kaca, kayu, dan lain sebagainya. Limbah tersebut sangat berpengaruh terhadap lingkungan Masyarakat dalam kebersihan, oleh karena itu kita harus memanfaatkan limbah menjadi suatu hal yang berguna agar dapat mengurangi sampah pada lingkungan Masyarakat. Salah satu pemanfaatan limbah dapat di gunakan sebagai bahan bakar.

Bahan bakar sebagai sumber energi, Bahan bakar adalah suatu material yang bisa diubah menjadi energi dengan cara membakar bahan bakar tersebut karena menyimpan energi panas yang dapat dilepaskan dan dimanipulasi. Jenis bahan bakar limbah yang akan digunakan ialah limbah filter rokok.

Dalam laporan *World Health Organization* (WHO) memperkirakan pada tahun 2015 jumlah perokok di Indonesia sebesar 72.723.300 jiwa. Data statistik WHO ini juga menunjukkan adanya peningkatan jumlah perokok pada tahun 2020 85.308.500 jiwa sedangkan pada tahun 2025 sebesar 96.776.800 jiwa. Hal ini menunjukkan sekurang-kurangnya dalam satu hari di tahun 2015 di Indonesia akan ada sebanyak 72.723.300 limbah filter rokok. Hal ini apabila dalam sehari perokok aktif membakar rokoknya sekurang-kurangnya satu batang. Sementara itu warga Indonesia justru cenderung dalam sehari menghabiskan satu bungkus

rokok. Dimana satu bungkusnya berisi 15-20 batang rokok. Maka akan dihasilkan limbah kurang lebih sebanyak 1.454.466.000 filter rokok.

Berdasarkan data tersebut berarti sampah filter rokok akan menumpuk dalam waktu yang cukup lama baru dapat terurai. Hal ini menjadi suatu permasalahan besar karena kandungan dari filter rokok sendiri membahayakan bagi lingkungan. Menurut *Keep American Beautiful*, filter rokok merupakan pelaku pencemaran laut yang paling banyak dengan 21 % dari pencemaran di laut lainnya. Dengan banyaknya limbah filter rokok tersebut dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang menyebabkan ikan-ikan mati karena adanya zat berbahaya didalam puntung rokok.(Pertiwih et al., 2020)

Menyadari bahaya dan potensi yang ada dari limbah filter rokok diperlukan adanya pemanfaatan limbah filter rokok ini. Penelitian ini nantinya akan membuat limbah puntung rokok menjadi memiliki nilai guna dan bermanfaat sebagai upaya penanganan limbah. Salah satunya adalah dengan menjadikan filter rokok sebagai bahan bakar dari turbin uap skala prototipe.

Pada penelitian sebelumnya, peneliti menggunakan bahan bakar cangkang kemiri namun nilai kalor tidak di ketahui, dan oleh karena itu peneliti kali ini akan mencari nilai kalor dari bahan bakar yang digunakan, dan di asumsikan nilai kalor pada bahan bakar filter rokok yang peneliti ini akan gunakan lebih tinggi dan efisien bagi pembakaran pada boiler skala prototipe.

Dengan latar belakan ini maka penulis tertarik untuk mengadakan penelitian sebagai tugas sarjana dengan judul : **Analisis Pengaruh Jenis Bahan Bakar Limbah Terhadap Kinerja Turbin Uap Skala Propotipe.**

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang masalah, terdapat berbagai objek yang berhubungan pada penelitian ini diantaranya :

1. Apakah nilai kalor dari bahan bakar limbah filter rokok berpengaruh terhadap laju konsumsi bahan bakar?
2. Bagaimana pengaruh varian bahan bakar limbah filter rokok terhadap kinerja turbin uap skala prototipe?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian diperlukan untuk menghindari pembahasan atau pengkajian yang tidak terarah dan agar dalam pemecahan masalah dapat dengan mudah dilaksanakan. Adapaun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi pengaruh nilai kalor (LHV) bahan bakar limbah filter rokok terhadap laju konsumsi bahan bakar;
2. Menganalisis pengaruh varian bahan bakar limbah filter rokok terhadap kinerja turbin uap skala prototipe.

1.4. Hipotesis Penelitian

1. H_0 : pengaruh varian nilai kalor (LHV) bahan bakar limbah filter rokok terhadap laju konsumsi bahan bakar lebih tinggi disbanding cangkang kemiri. H_1 : pengaruh varian nilai kalor (LHV) bahan bakar limbah filter rokok terhadap laju konsumsi bahan bakar tidak lebih tinggi disbanding cangkang kemiri

2. H_0 : Penggunaan limbah sebagai bahan bakar filter rokok mempengaruhi kinerja pembangkit listrik. H_1 : Penggunaan limbah sebagai bahan bakar filter rokok tidak mempengaruhi kinerja pembangkit listrik.

1.5. Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini dikemukakan beberapa manfaat yaitu:

1.5.1. Manfaat Ilmiah

1. Dapat memberi kontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan yang relevansi dengan bidang variasi bahan bakar sistem pembangkit tenaga uap.
2. Menerapkan ilmu yang telah di pelajari di bangku kuliah dan mengetahui kebutuhan bahan bakar, dengan menerapkan dengan dunia kerja.
3. Mengoptimalkan bahan bakar terhadap ruang bakar agar mencapai nilai efisiensi yang tinggi.

1.5.2. Manfaat Praktis

Dapat mengetahui pengaruh jenis bahan bakar varian dari limbah yaitu limbah filter rokok yang dapat memenuhi permasalahan nyata dalam penyediaan bahan bakar sistem pembangkit tenaga uap skala prototipe.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Boiler

Boiler adalah suatu bejana tertutup yang mampu mengubah air menjadi *steam* dengan bantuan panas dari proses pembakaran bahan bakar. Boiler secara efisien dapat mengubah air menjadi *steam*. *Steam* tersebut akan digunakan untuk menggerakkan turbin yang dikopel dengan generator. Generator adalah alat untuk membangkit listrik. Energi *thermal* yang dihasilkan kemudian di pindahkan ke fluida kerja yaitu air/ *feedwater* untuk memproduksi uap yang digunakan untuk berbagai keperluan.

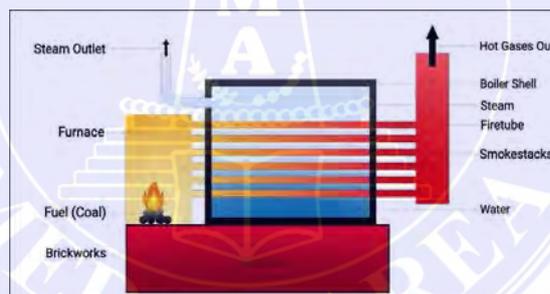
Sistem kerja boiler terdiri dari sistem air umpan/ air pengisian boiler, sistem uap, sistem bahan bakar serta sistem udara pembakaran dan gas buang. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis untuk keperluan *steam*. Sistem uap berfungsi untuk mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam boiler. Sistem bahan merupakan semua peralatan yang digunakan dalam menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan energi panas yang dibutuhkan, seperti *coal handling sistem* pada berbahan batu bara, *oil handling sistem* pada berbahan minyak, dan natural gas sistem pada boiler berbahan bakar natural gas. Sistem udara pembakaran dan gas buang merupakan semua peralatan yang digunakan dalam menyediakan udara sebagai suplai untuk pembakaran serta membuang dan mengontrol gas hasil pembakaran ke atmosfer. (Santiatma, 2017)

Berdasarkan daerah yang mengalami pemanasan boiler, boiler dibedakan menjadi dua yaitu:

2.1.1. *Fire Tube Boiler* (Boiler Pipa Api)

Pada *Fire Tube Boiler*, gas panas hasil pembakaran mengalir melalui pipa-pipa yang dibagian luarnya di selimuti air sehingga terjadi perpindahan panas dari gas panas ke air dan air berubah menjadi uap. *Fire Tube Boiler* biasanya digunakan untuk kapasitas *steam* yang relatif kecil dengan tekanan *steam* rendah sampai sedang. *Fire Tube Boiler* kompetitif untuk kapasitas *steam* sampai kg/s dengan tekanan sampai 1765,2 kPa (UNEP, 2008). Boiler jenis ini banyak digunakan di pabrik-pabrik gula karena tidak memerlukan tekanan uap yang tinggi. *Fire Tube Boiler* dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya.(Santiatma, 2017)

Pada gambar 2.2. kita dapat melihat gambaran dari boiler jenis *fire Tube Boiler* (boiler pipa api) sebagai berikut:

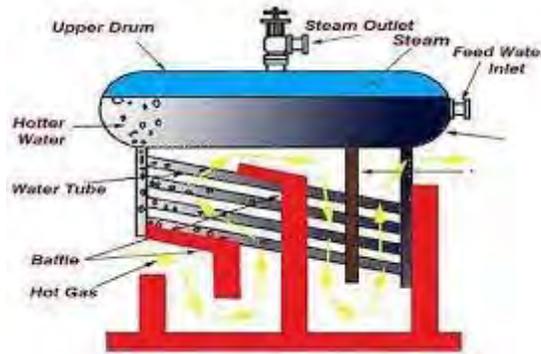


Gambar 2.2. *Fire Tube Boiler* (Boiler Pipa Api)

2.1.2. *Water Tube Boiler* (Boiler Pipa Air)

Pada boiler jenis *Water Tube Boiler*, air berada dalam pipa sedangkan gas panas berada di luar pipa. Keter pipa air dapat beroperasi dengan tekanan yang sangat tinggi (lebih dari kPa). Ketel uap pipa air dapat bekerja optimal pula serta sirkulasi air dan uap di dalam ketel juga berlangsung dengan baik. Boiler yang biasanya digunakan pada instalansi pembangkit tenaga listrik adalah jenis *Water Tube Boiler*.

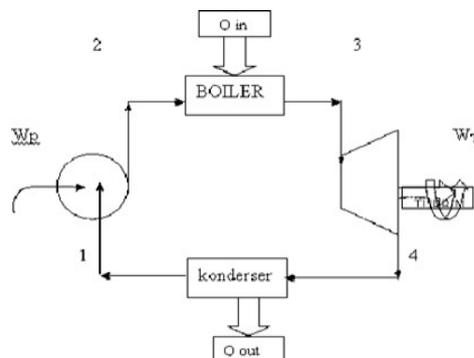
Pada gambar 2.3. kita dapat melihat gambar pada boiler jenis *water tube boiler* (boiler pipa air) sebagai berikut:



Gambar 2.3. *Water Tube Boiler* (Boiler Pipa Air)

2.2. Siklus *Rankine*

Siklus *Rankine* setelah diciptakan, langsung diterima sebagai standart untuk pembangkit daya yang menggunakan uap. Siklus *Rankine* nyata yang digunakan dalam instalasi pembangkit daya jauh lebih rumit dari pada siklus *Rankine* ideal asli sederhana. Siklus ini merupakan siklus yang paling banyak digunakan untuk pembangkit daya listrik dewasa ini, Siklus *Rankine* adalah siklus uap-cair, maka paling baik bila siklus ini digambarkan pada kedua diagram, P-V dan T-S (Gambar 2.4.) dengan garis-garis yang menunjukkan uap-jenuh dan cairan- jenuh.



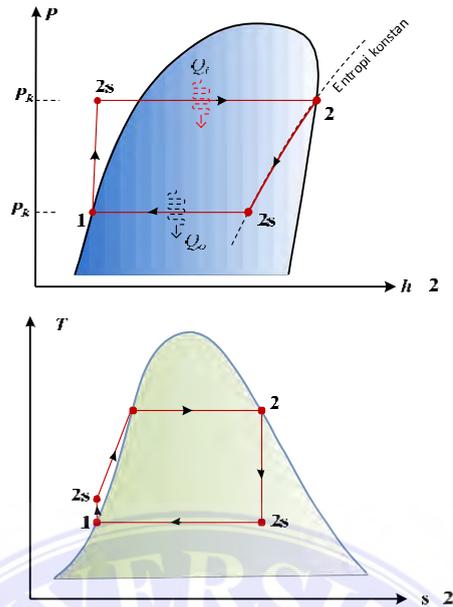
Gambar 2.4. Siklus *Rankine*.

Proses yang terjadi pada gambar diatas merupakan:

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

Siklus ideal yang terjadi didalam turbin adalah siklus *Rankine* Air pada siklus 1 dipompakan, kondisinya adalah *isentropikks* $S_1 = S_2$ masuk ke boiler dengantekanan yang sama dengan tekanan di kondenser tetapi Boiler menyerap panas sedangkan kondenser melepaskan panas, kemudian dari boiler masuk keturbin dengan kondisi super panas $h_3 = h_4$ dan keluaran dari turbin berbentuk uap jenuh dimana laju aliran massa yang masuk ke turbin sama dengan laju aliran massa keluar dari turbin, ini dapat digambarkan dengan menggunakan diagram $p-h$ dan $T-s$ pada Gambar 2.5. Proses proses yang terjadi dari diagram tersebut diatas adalah sebagai berikut:

- a. Proses 1-2 : Proses kompresi *isentropikks* pada kompresor.
- b. Proses 2-3 : Proses pembakaran pada tekanan konstan (*isobar*) Didalam ruang bakar, adanya pemasukan panas.
- c. Proses 3-4 : Proses ekspansi *isentropikks* pada turbin.
- d. Proses 4-1 : Proses pelepasan kalor pada tekanan konstan.



Gambar 2.5. Diagram $P-h$ dan $T-s$.

Dalam proses terjadinya siklus *Rankine* terdapat beberapa komponen yang mendukung terjadinya siklus *Rankine*, yaitu sebagai berikut:

2.2.1. Pompa

Pompa adalah termasuk mesin fluida dimana energi (dalam bentuk kerja) digunakan untuk menaikkan tekanan fluida kerja dari tekanan kondensor (p_1) ke tekanan boiler (p_2). Jika kehilangan panas ke lingkungan diabaikan, pada kondisi *steady*, kerja pompa dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$\dots\dots\dots(2.1)$$

= kerja pompa (kW)

= laju aliran fluida kerja (kg/s)

dan = entalpi dari fluida kerja (kJ/kg)

Pada proses ideal (*isentropikks*), kerja pompa ini dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\dots\dots\dots(2.2)$$

Proses kompresi pada pompa ini sebenarnya tidak secara *isentropikks*, tetapi ada penyimpangan yang dinyatakan dengan efisiensi *isentropikks* pompa yang di rumuskan sebagai berikut:

$$\text{.....(2.3)}$$

Proses penyimpangan dari garis *isentropikks* pada pompa dapat dilihat pada gambar 2.6.

2.2.2. Boiler

Fungsi boiler pada siklus *Rankine* adalah mengubah fluida cair dari pompa (biasa disebut air umpan/ *feedwater*) menjadi uap. Secara ideal proses ini terjadi secara *isobarik*, dan dapat dibagi atas 3 jenis. Pertama pemanasan, yaitu menaikkan temperatur air umpan (saat ini belum terjadi perubahan fasa), kedua proses pendidihan (*evaporasi*), dimana temperaturnya konstan, dan proses ketiga pemanasan lanjut, yaitu menaikkan temperatur uap yang terbentuk. Pada Gambar 2.5. hanya dua proses yang ditunjukkan, yaitu proses pemanasan dan proses pendidihan. Karena pada kondisi akhir di titik 3 kondisi yang terjadi tepat uap saturasi atau tidak dilanjutkan pada kondisi pemanasan lanjut. Pada siklus *Rankine*, umumnya prosesnya sampai ke panas lanjut. Jika kehilangan panas ke lingkungan diabaikan, maka laju perpindahan panas ke fluida kerja dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:(Ambarita, n.d.)

$$\text{.....(2.4)}$$

2.2.3. Turbin

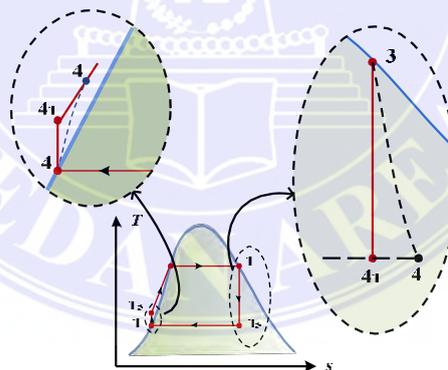
Fluida yang keluar dari boiler dalam fasa uap, mempunyai tekanan dan temperatur tinggi (entalpinya juga tinggi), digunakan memutar sudut-sudut turbin.

Pada sisi keluar, tekanan dan temperatur uap akan turun (demikian juga

entalpinya). Perbedaan entalpi sisi masuk dan sisi keluar turbin inilah yang berubah menjadi kerja sekaligus merupakan keluaran turbin. Jika kehilangan panas ke lingkungan dan perubahan energi kinetik dan potensial fluida diabaikan, maka kerja yang dihasilkan turbin dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$\dots\dots\dots(2.5)$$

Pada kondisi ideal proses ini terjadi secara *isentropikks*, tetapi pada kondisi aktual terjadi penyimpangan. Proses *isentropikks* dan aktual pada turbin ini dapat dilihat pada Gambar 2.6. Pada gambar dapat dilihat akibat proses tidak *isentropikks*, kondidi uap keluar tubin tidak pada titik 4s, tetapi akan bergeser ke sebelah kanan ke titik 4. Dengan kata lain entropi akan bertambah dari s_{4s} ke s_4 . Hal yang sama juga terjadi pada pompa. Jika pada proses *isentropikks*, kondisi fluida keluar pompa adalah 2s, tetapi karena prosesnya tidak *isentropikks*, kondisi fluida keluar pompa adalah titik 2.



Gambar 2.6. Proses Aktual Pada Turbin Dan Pompa

Pada proses *isentropikks*, kerja yang dilakukan turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\dots\dots\dots(2.6)$$

Kerja turbin secara *isentropikks* (bisa disebut kerja ideal) akan lebih besar dari kerja aktual. Perbandingan kerja aktual dan kerja ideal ini disebut efisiensi *isentropikks* turbin, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\dots\dots\dots(2.7)$$

Persamaan (2.5),(2.6) dan (2.7) dapat digabungkan untuk mendapatkan nilai entalpi aktual uap keluar dari turbin ().

$$\dots\dots\dots(2.8)$$

2.2.4. Kondensor

Uap keluar turbin bisa saja langsung dibuang ke lingkungan, dengan catatan tersedia banyak air untuk diumpankan lagi oleh pompa ke boiler. Tetapi hal ini akan membutuhkan air dalam jumlah yang sangat besar. Oleh karena itu, uap yang keluar dari turbin dapat digunakan kembali dengan catatan harus dicairkan dulu agar dapat dipompakan. Karena uap tidak dapat dipompakan. Tugas mencairkan uap keluar turbin ini adalah tanggung jawab kondensor. Maka fungsi kondensor adalah sesuai namanya mengkondensasikan uap keluar turbin menjadi cair. Untuk melakukan tugas ini, kondensor akan memerlukan media pendingin. Besarnya panas yang harus dibuang kondensor untuk mengkondensasikan uap ini dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\dots\dots\dots(2.9)$$

1. Parameter Peformansi Siklus *Rankine*

Sebuah siklus *Rankine* dapat diasumsikan sebagai sebuah volume atur. Jika asumsi-asumsi berikut: kondisi *steady*, tidak ada penambahan atau

pengurangan energi di dalam volume atur, kehilangan panas ke lingkungan diabaikan (kecuali ada kondensor), maka hukum kekekalan energi akan memberikan persamaan berikut:

$$\dots\dots\dots(2.10)$$

Persamaan ini mempunyai 4 komponen energi yang dapat digolongkan atas 2 bagian, yaitu energi tertentu panas () dan energi berwujud

kerja . Biaya yang harus dibayar dalam mengoperasikan sebuah siklus *Rankine* adalah dan kerja pompa . Kemudian energi yang dipanen dari siklus *Rankine* adalah kerja turbin, sementara panas dari kondensor adalah terbuang ke lingkungan.

Parameter-parameter yang dapat digunakan untuk menyatakan performasi dari sebuah siklus *Rankine* antara lain adalah:

- a. Kerja *Netto* Turbin

Adalah kerja bersih yang dihasilkan dari sebuah siklus *Rankine*:

$$\dots\dots\dots(2.11)$$

- b. Efisiensi *Thermal*

Efisiensi ini didefinisikan sebagai perbandingan kerja netto yang di hasilkan siklus *Rankine* dengan energi yang panas masuk system.

$$\dots\dots\dots(2.12)$$

Efisiensi berbeda dengan efisiensi isentropis pada turbin dan pada pompa. Efisiensi *thermal* adalah efisiensi siklus secara keseluruhan, sementara efisiensi isentropis pada turbin dan pada pompa adalah menyatakan penyimpangan masing-masing komponen tersebut dari kondisi idealnya.

c. *Back work ratio* (bwr)

Kerja pompa yang digunakan mengalirkan fluida dibandingkan dengan kerja yang dihasilkan turbin.

$$\text{---.....(2.13)}$$

2. Metode Analisis Siklus *Rankine*

Analisis suatu siklus *Rankine* tidak begitu sulit, langkah awal yang sangat menentukan adalah proses penentuan entalpi dan entropi pada masing-masing titik. Yaitu titik 1 sampai dengan titik 4 pada diagram *P-h*. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan entalpi di tiap titik sebuah siklus *Rankine*. Urutan metode yang umum digunakan adalah: (1) menggunakan Tabel, (2) menggunakan diagram *P-h*, dan (3) menggunakan Perangkat lunak. Salah satu dari metode itu atau gabungannya dapat digunakan.

2.3. Bahan Bakar Biomassa

Biomassa adalah bagian yang dihasilkan dari limbah produk pengolahan hasil pertanian, kehutanan, industri dan limbah rumah tangga. Biomassa sangat beragam jenisnya yang ada pada dasarnya merupakan hasil produksi dari makhluk hidup. Jumlah produksi biomassa sangat melimpah di dunia. Namun pemanfaatan energi yang berasal dari biomassa masih belum optimal.

Biomassa dapat digunakan untuk menyediakan panas, membuat bahan bakar, dan pembangkitan listrik. Kayu sebagai sumber terbesar dari bioenergi telah digunakan untuk menyediakan panas selama ribuan tahun. Tetapi masih banyak tipe lain dari biomassa, seperti tanaman, sisa-sisa pertanian atau kehutanan, dan komponen organik dari sampah kota dan industri, yang sekarang

dapat digunakan sebagai sumber energi. Yang termasuk sumber daya biomassa adalah semua bahan organik yang pada dasarnya dapat diperbarui termasuk tanaman dan pohon khusus untuk energi tersebut, tanaman pangan, sampah dan sisa-sisa pertanian, sisa sampah kehutanan, tanaman air, kotoran hewan, sampah perkotaan dan metrial sampah lain.

Dari berbagai sumber bahan bakar biomassa yang ada, maka penulis memilih biomassa limbah dari filter rokok, sebagai bahan bakar turbin uap skala prototipe. Pada bahan filter rokok mengandung 95% selulosa asetat. Selulosa asetat merupakan plastik alami yang terbuat dari kapas dan bubur kertas. Selulosa asetat memiliki serat yang tipis, berwarna putih dan dipadatkan agar bisa membentuk filter yang seratnya terikat dengan *plasticezer* dan *triacetin* (*glycerol triacetate*). (Hendianto & Hendrasarie, 2020)

Oleh karena itu peneliti mengambil filter rokok sebagai bahan bakar biomassa pada penelitiannya. Yang dimana selulosa asetat merupakan senyawa anorganik yang mudah terbakar, oleh karena itu asumsi dari pada paneliti menyatakan filter rokok memiliki nilai kalor yang tinggi jika digunakan sebagai bahan bakar pada turbin uap skala prototipe.

Dari gambar 2.1. kita dapat melihat bahan bakar yang akan digunakan penelitidalam penelitiannya yaitu bahan bakar dari filter rokok.



Gambar 2.1. Bahan Bakar Filter Rokok

2.4. Prinsip Kerja Boiler

Boiler adalah salah satu perangkat mesin yang berfungsi mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berada di dalam pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontiniu di dalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan boiler adalah uap *superheat* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada permukaan pemindah panas, laju aliran dan panas pembakaran yang diberikan. Ketel uap (boiler) yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut *water tube boiler*. Pada unit pembangkit, boiler biasa disebut dengan *steam generator* (pembangkit uap) mengingat arti kata boiler hanya pendidih, sementara pada kenyataannya dari boiler dihasilkan uap *superheat* bertekanan tinggi. (Albert sihaloho, 2023)

2.5. Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler dapat di defenisikan sebagai persentase energi panas bahan bakar (*heat input*) yang digunakan secara efektif pada *steam* yang dihasilkan, atau dalam pengertian lain efesiensi boiler adalah prestasi kerja atau tingkat kerja pada boiler yang dapat dari perbandingan antar energi yang dipindahkan ke fluida kerja atau diserap oleh fluida kerja di dalam boiler dengan masuk energi panas bahan bakar.

Berdasarkan USA standart ASME PTC 4-1 *power test code for steam generating units* terdapat dua metode untuk mengevaluasiksan efesiensi boiler yaitu dengan menggunakan metode langsung dimana energi dipindahkan ke fluida

kerja (air dan uap) di banding dengan energi bahan bakar panas bahan bakar boiler. Dan untuk metode yang kedua iyalah metode tidak langsung dimana efesiensi merupakan perbedaan antara persentase panas yang masuk dengan persentase kehilangan kehilangan yang terjadi.

2.5.1. Metode langsung (*direct method*)

Dikenal dengan metode *input-output* karena metode ini hanya memerlukan panas keluaran/*output* dan panas masukan/*input* untuk evaluasi efesiensi. Dimana *output* merupakan energi panas yang dipindahkan ke fluida kerja untuk memproduksi uap pada kondisi keluaran *superheater* dan panas masuk/*input* merupakan enrgi panas bahan bakar.

Efesiensi ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\eta = \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

- η = efesiensi boiler (%)
- Q_x = jumlhah *steam* yang dihasilkan (kg /s)
- h_g = entalpi *Steam* (kj/kg)
- h_f = entalpi air umpan/*feedwater* (kj/kg)
- q = jumlhah bahan bakar yang digunakan (kg/s)
- GCV = nilai panas bahan bakar (kj/kg)

2.5.2. Metode tidak langsung (*indirect method*)

Metode tidak langsung ialah metode yang menggunakan selisi antara besar energi *input* dan *losses*. Metode ini sering disebut dengan metode *heat losses*.

Dalam menggunakan metode *indirect* data yang dibutuhkan berupa *coal fired boiler* dan *fuel analysis*.

Pada data *coal fired boiler* terdapat jumlah bahan bakar yang masuk tiap jam, jumlah *steam* tiap jam, tekanan dan suhu *steam output*, suhu *feed water*, kandungan kadar CO dan , suhu gas buang, suhu lingkungan, kelembapan udara lingkungan, suhu permukaan boiler, kecepatan angin disekitar boiler, total luas permukaan boiler, nilai GCV *bottom ash* dan *fly ash*. Pada data *fuel analysis* terdapat data kadar abu, karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, sulfur, dan nilai HHV dari bahan bakar.

Pada standar ASME PTC 41, ada 8 *head losses* yang terdapat dalam boiler seperti berikut ini:

1. *Head loss due to dry flue gas* ()

$$= \frac{m}{cp} \left(\frac{GCV}{Tf} - Ta \right) \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan:

- m = Massa dari gas buang kering (kj/kgK)
- cp = Kalor spesifik dari gas buang kering (kj/kgK)
- GCV = Nilai kalor bahan bakar (kj/kg)
- Tf = Temperatur gas buang (K)
- Ta = Temperatur *ambient* (K)

2. *Heat loss due to in fuel* ()

$$= \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

= Jumlah atom hydrogen dalam bahan bakar (kg/kg fuel)

= kalor spesifik dari *superheated steam* (kj/kgK)



= panas *latent* yang berhubungan dengan tekanan persial dari uap air

3. *Heat loss due to moisture in fuel* ()
 = _____(2.18)

Keterangan:

M = kelembapan dalam bahan bakar (kg/kg fuel)

4. *Heat loss due to moisture in air* ()
 = _____(2.19)

Keterangan:

ASS = massa aktual udara (kg/kg fuel)

Humuditi factor = 0,024

Cp = Kalor spesifik *of air* (kj/kgK)

5. *Heat loss due to inomeplote combustion* ()
 = _____(2.20)

Keterangan:

CO = Volume CO dalam gas buang (%)

= Volume aktual dalam gas buang (%)

C = Kadar karbon (kg/kg fuel)

6. *Heat loss due to radiaton and convection* ()

 [() ()]
 √ [](2.21)

Keterangan:

= Kecepatan angin (m/s)

T_s = Temperatur permukaan (K)

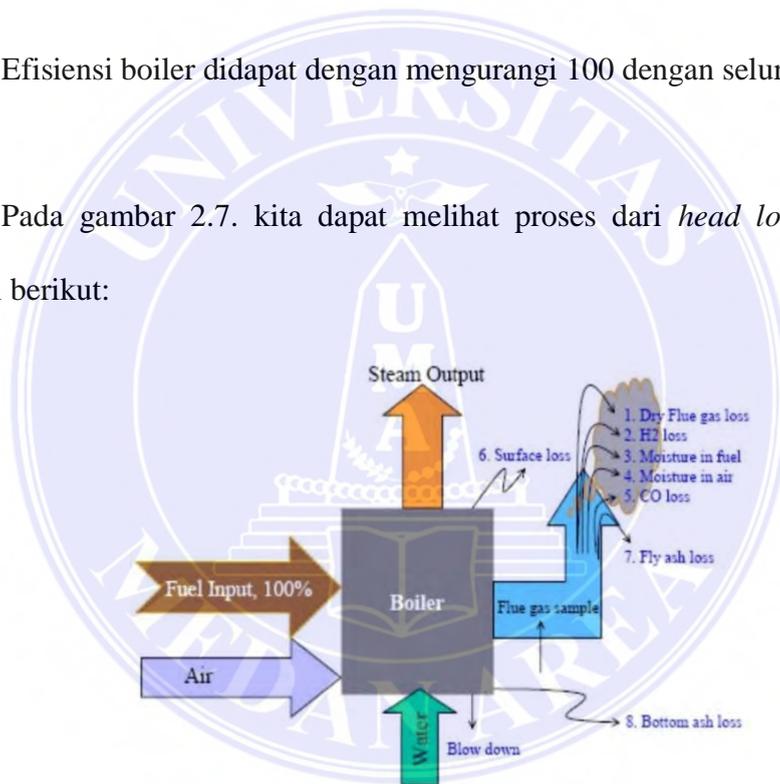
T_a = Temperatur *ambient* (K)

7. *Heat loss due unburnt in fly ash* ()
 _____(2.22)

8. *Heat loss due unburnt in buttom ash*
 _____(2.23)

Efisiensi boiler didapat dengan mengurangi 100 dengan seluruh *losses*
(2.24)

Pada gambar 2.7. kita dapat melihat proses dari *head loss* pada boiler sebagai berikut:



Gambar 2.7. *Head loss* pada Boiler

2.6. Proses Pembentukan Uap

Uap air adalah sejenis fluida yang merupakan fase gas dari air bila mengalami pemanasan sampai temperatur didih di bawah tekanan tertentu. Uap air tidak berwarna, bahkan tidak terlihat bila dalam keadaan murni kering. Uap air

pertama kali dipakai sebagai fluida kerja oleh *James Watt* yang terkenal sebagai penemu mesin uap torak. Jumlah energi panas yang diberikan selama proses transformasi BC yang berlangsung tanpa kenaikan panas suhu disebut panas lebur, sebenarnya 80 kkal/kg. titik 0°C disebut titik lebur (titik beku) es. Bila panas diteruskan terhadap 1 kg air pada 0°C (titik C) maka temperatur air akan naik sampai 100°C dibawah tekanan standart, seperti di perlihatkan pada garis CD. (Saputra dan Ferdian, 2020)

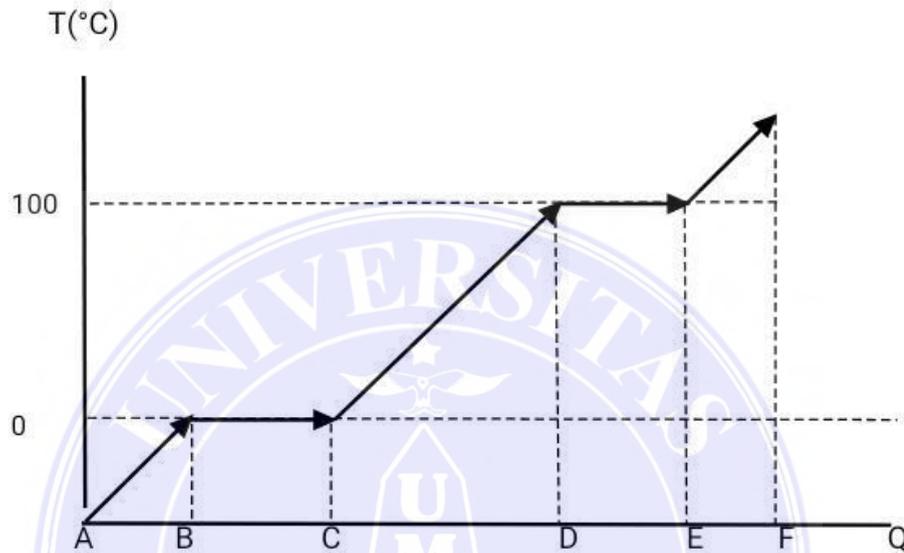
Bila proses pemanasan (penambahan energi panas) dilanjutkan sesuai garis DE di bawah tekanan standart, akan terlihat bahwa temperatur tidak berubah. Sebagian dari air berubah menjadi uap (fasa gas), jadi selama berlangsungnya penambahan energi panas pada fasa campuran ini, temperatur tidak naik tetapi energi panas terserap ke dalam proses. Akhir dari proses fasa campuran ini ialah terbentuknya uap air secara keseluruhan (disebut air mendidih) pada titik E. titik E ditandai oleh suhu 100°C dan standart tekanan 1atm. Angka 100 disebut titik didih air dibawah tekanan 1 atm (101,325 kPa).

Jumlah energi yang diserap selama proses transformasi DE disebut panas penguapan (panas *latent*) yang besarnya 538,9 kkal/kg. kondisi uap pada kg/*absolut* dan 100°C disebut kondisi jenuh (*saturasi*). Uap yang terbentuk dalam suhu dan tekanan *saturasi* disebut uap *saturasi*. Bila pemanasan (pemberian energi panas) dilanjutkan di bawah tekanan standart yang konstan maka suhu uap akan naik, sesuai dengan garis proses EF. Uap yang dihasilkan pada kondisi F disebut uap panas. Keuntungan menggunakan uap sebagai media kerja iyalah sebagai berikut:

- 1) Mempunyai kemampuan untuk menerima kalor dalam jumlah yang besar.

- 2) Dapat bekerja pada tekanan tinggi.
- 3) Cepat menghantarkan panas

Untuk penjelasan dalam proses pembentukan uap kita dapat melihat pada gambar 2.8. dibawah ini:



Gambar 2.8. Grafik Proses Pembentukan Uap

Dimana:

AB = Tambah kalor menaikkan suhu es sampai 0°C

BC = Tambah kalor mencairkan es menjadi cair

CD = Tambah kalor menaikkan suhu air dari 0°C sampai 100°C di bawah pemanasan hingga (100°C dibawah tekanan 1 atm = 1,003 kg/cm) dimana proses ini terjadi *sensible heat*.

DE = Tambah kalor menguapkan air, panas yang diberikan merubah fase dari 100°C air menjadi 100°C uap jenuh (pada *latent heat*).

EF = Tambahan kalor menaikkan suhu uap, panas yang diberikan menaikkan suhu 100°C uap jenuh menjadi uap kering (pemanasan uap lanjut) pada proses *sensible heat*.

Pada tekanan 1 atm dan 100°C air akan berubah menjadi uap dan apabila dipanaskan terus-menerus maka seluruhnya akan berubah menjadi uap, pada pemanasan air dan temperatur 0°C menjadi 100°C dibutuhkan kalor (Q), maka kalor yang dibutuhkan ialah:

$$\dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan:

= Panas *latent* (penguapan) (kj/kgK)

= Massa air (kg/s)

= Panas spesifikasi air (kj/kg)

$$\dots\dots\dots(2.26)$$

Bila pemanasan terus dilanjutkan, maka volume uap bertambah sampai seluruh air berubah menjadi uap dan temperatur air tidak naik, maka tekanannya juga tetap, kalor dibutuhkan untuk perubahan fase ini adalah:

$$\dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan:

= Massa uap (kg)

Selanjutnya bila uap air terus dipanaskan maka temperatur uap akan naik dan kenaikan temperaturnya sebanding dengan kalor yang di terima yaitu:

$$\dots\dots\dots(2.28)$$

Keterangan:

= Massa uap (kg)

$$= \text{Panas spesifikasi uap (kj/kgK)}$$

$$= (-373,15K)$$

2.7. Komsumsi Bahan Bakar Boiler

Konsumsi bahan bakar merupakan jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam boiler (kg/s), Untuk mencari nilai tersebut harus diketahui terlebih dahulu nilai kalor bahan bakar *Low Heating Value* (LHV) dan jumlah Kebutuhan panas pada boiler (Q), selanjutnya yaitu membagi jumlah Kebutuhan panas boiler (Q) dengan nilai kalor bahan bakar (LHV) maka didapatkan konsumsi bahan bakar. Adapun rumus untuk mencari kebutuhan bahan bakar adalah sebagai berikut :

$$\text{--- (2.29)}$$

keterangan:

- m = laju aliran massa bahan bakar (kg/s)
- Q = kebutuhan panas boiler (kj/s)
- LHV = *Low Heating Value*/ nilai kalori bahan bakar.(kj/kg)

2.8. Panas Yang Masuk Dari Bahan Bakar

Boiler pipa api skala prototipe ini penelitian menggunakan bahan bakar filter rokok, dimana LHV dari bahan bakar filter rokok ialah 17.200 kj/kg. maka dengan ini untuk menganalisis panas yang masuk dari bahan bakar ke boiler pipa api skala prototipe menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_{in} = M_{bb} \times LHV \text{ (2.30)}$$

Keterangan:

- Q_{in} = Panas yang masuk (Watt)

Mbb = Massa bahan bakar (kg)

LHV = Nilai pemanasan yang lebih rendah (kJ/kg)

2.9. Kalor Yang Digunakan Air Untuk Menjadi Uap

Penelitian ini menggunakan boiler pipa api skala prototipe dengan kapasitas tabung pada boiler pipa api skala prototipe dengan menggunakan air biasa, dimana untuk menganalisis kalor yang digunakan air untuk menjadi uap sebagai berikut:

.....(2.31)

Keterangan:

Q = Panas air (Watt)
 m = Massa (kg)
 c_p = Kalor jenis (kJ/kgK)
 T_2 = Suhu akhir (K)
 T_1 = Suhu awal (K)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1. Waktu Peneilian

Penelitian ini dilaksanakan setelah pengesahan judul penelitian oleh pengelola program studi sampai dinyatakan selesai yang direncanakan berlangsung selama waktu yang akan ditentukan. Waktu kegiatan penelitian dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3.1. Waktu Kegiatan Penelitian

Aktifitas	2024																			
	Bulan VIII				Bulan IX				Bulan X				Bulan XI				Bulan XII			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan Judul	■	■																		
Penulisan Proposal		■	■	■																
Seminar Proposal					■															
Proses Penelitian						■	■	■												
Pengolahan Data										■	■									
Penyelesaian Laporan											■	■								
Seminar Hasil																				
Evaluasi Dan Pesiapan Sidang															■	■				
Sidang Sarjana																			■	

3.1.2. Tempat

Penelitian ini dilakukan di Bengkel Bubut Adi Jaya Teknik yang beralamat di Jl. Medan-Binjai KM 12,8, Kec. Medan Sunggal, Kabupaten Deli Serdang, Sumatra Utara.

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1. Bahan

- a. Filter Rokok, pada gambar 3.1. kita dapat melihat Filter Rokok yang digunakan sebagai bahan bakar boiler dalam penelitian ini. Nilai kalor yang terkandung di dalam filter rokok 17.200 kj/kg.(Engineering et al., 2020)



Gambar 3.1. Filter Rokok

- b. Air, jenis air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari air keran yang di dapat dari saluran PDAM.

3.2.2. Alat

Dalam penelitian kali ini ada beberapa alat yang akan di gunakan dalam penelitian analisis pengaruh jenis bahan bakar limbah terhadap kinerja turbin uap skala prototipe.

- a. Boiler Pipa Api Skala Prototipe, pada gambar 3.2. merupakan alat utama yang digunakan oleh penelitian ini.



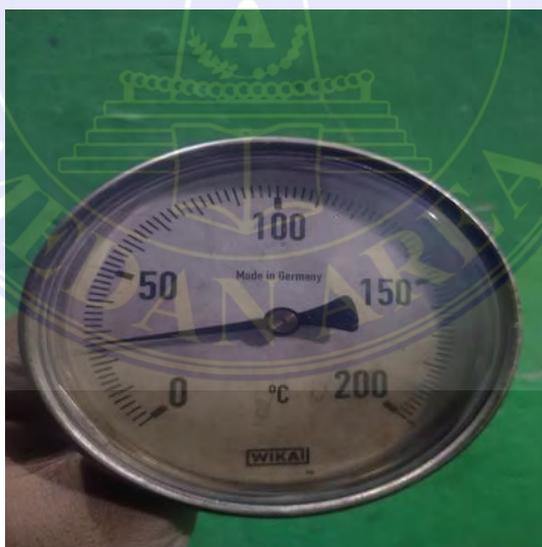
Gambar 3.2. Boiler Pipa Api Skala Prototipe

- b. *Pressure Gauge*, dapat di lihat pada gambar 3.3. yang digunakan sebagai alat ukur tekanan pada boiler skala prototipe.



Gambar 3.3. *Pressure Gauge*

- c. *Thermometer*, kita dapat melihat pada gambar 3.4. yang berfungsi sebagai alat ukur suhu air dan uap pada boiler skala prototipe.



Gambar 3.4. *Termometer*

- d. *Sight Glass*, dapat kita lihat pada gambar 3.5. yang berfungsi untuk melihat air yang terdapat didalam boiler skala prototipe sehingga

memudahkan untuk mengetahui air di dalam masih tersedia atau sudah habis.



Gambar 3.5. *Sight Glass*

- e. *Safety Valve*, dapat kita lihat pada gambar 3.6. yang berfungsi sebagai pengaman pada boiler yang dimana bertujuan untuk membuang uap apabila tekanan yang terjadi pada boiler skala prototipe melebihi dari kapasitas yang telah ditentukan pada boiler skala prototipe.



Gambar 3.6. *Safety Valve*

3.3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini penulis menggunakan metode merancang boiler skala prototipe dan melakukan eksperimen pada boiler skala prototipe yang telah dirancang oleh penulis. Dalam mengambil data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. *Set-up* alat boiler skala prototipe
2. Mengisi air kedalam tabung boiler skala prototipe dengan menggunakan pompa air.
3. Menghidupkan api pada ruang bakar dengan menggunakan bahan bakar Filter Rokok.
4. Selama proses pembakaran pastikan api pada ruang bakar menyala dan di bantu dengan *blower* pada ruang bakar.
5. Setelah proses pembakaran air akan mendidih dan *pressure gauge* akan mengalami kenaikan tekanan.
6. Pengambilan data dilakukan setiap kenaikan tekanan pada *pressure gauge* dan tinggi suhu pada *thermometer* dan proses ini dilakukan sampai mencapai tekanan 700 kPa.
7. Setelah mendapatkan data, kemudian dilakukan pengolahan data dengan menggunakan metode ANOVA.

3.4. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penulisan penelitian ini adalah menggunakan alat rancangan berupa turbin uap skala prototipe yang telah di ubah dari rancangan sebelumnya serta memperbesar seluruh ukuran dari turbin uap tersebut agar panas

dari pembakaran dapat di analisis oleh penulis, penulis menggunakan bahan bakar Filter Rokok sebagai bahan bakarnya. Sampel dalam penulisan penelitian ini adalah menghitung energi panas ruang bakar, menghitung efisiensi boiler, serta menghitung laju konsumsi pada bahan bakar.

Table 3.2. Sampel Penelitian

Bahan Bakar	LHV (kJ/kg)	Tekanan (kPa)	Hasil Penelitian		
			W _p (kg/s)	Q _{in} (kW)	W _t (kW)
Filter Rokok		100			
		200			
		300			
		400			
		500			
		600			
		700			

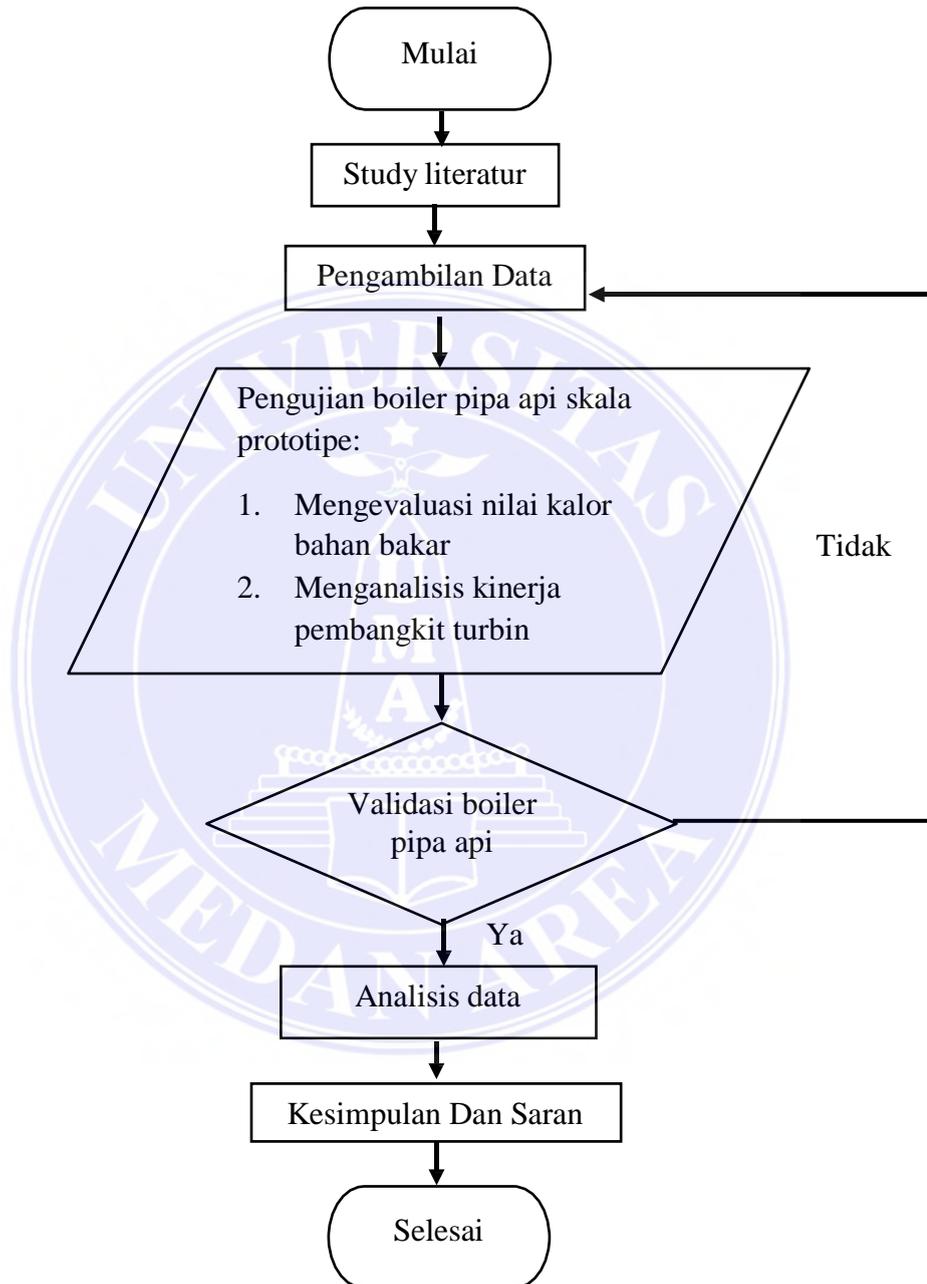
3.5. Prosedur Kerja

Prosedur Kerja ialah segala kegiatan yang perlu dilakukan terhadap mesin sampai mesin-mesin tersebut bekerja dengan baik. Sebelum melakukan penelitian ini, terlebih dahulu peneliti memasang komponen-komponen yang terpisah. Cara memasang komponen tersebut sebagai berikut:

1. Pasang turbin mini pada rumah turbin.
2. Pemasangan pipa untuk saluran uap dari katup keluaran boiler ke nosel.
3. Pemasangan alat ukur ke semua boiler.
4. Pemasangan pipa air ke boiler dari pompa air dan pemasangan *blower* pada ruang bakar.

3.5.1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir di bawah ini menunjukkan langkah-langkah dalam menyelesaikan penelitian ini.



Gambar 3.7. Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan peneliti serta perhitungan yang dihasilkan pada penelitian ini dapat di simpulkan sebagai berikut:

1. Hasil penelitian pengaruh nilai kalor (LHV) bahan bakar limbah filter rokok terhadap laju konsumsi bahan bakar sebagai berikut:
 - a. Nilai kalor pada bahan bakar limbah filter rokok lebih rendah yaitu 17.200 kJ/kg, dibandingkan cangkang kemiri yaitu 32.677,04 kJ/kg.
 - b. Laju konsumsi bahan bakar limbah filter rokok pada tekanan 500 kPa adalah 22,57 %;
 - c. Dari hasil penelitian yang dilakukan bahan bakar limbah filter rokok efisiensi bahan bakar pada tekanan 500 kPa lebih tinggi dari pada bahan bakar cangkang kemiri.
2. Hasil perhitungan terhadap kinerja yang dihasilkan boiler yang berbahan bakar limbah filter rokok pada penelitian terhadap tekanan 700 kPa sebagai berikut:
 - a. Daya Pompa (W_p) yang dihasilkan penelitian pada tekanan 700 kPa ialah 0,0019 kW;
 - b. Energi Masuk (Q_{in}) yang dihasilkan penelitian pada tekanan 700 kPa ialah 6,967 kW;
 - c. Daya Turbin (W_t) yang dihasilkan penelitian pada tekanan 700 kPa ialah 2,730 kW.

- d. Daya Netto (W_{net}) yang dihasilkan penelitian pada tekanan 700 kPa ialah 2,728 kW;
- e. Efisiensi Thermal () yang dihasilkan penelitian pada tekanan 700 kPa ialah 39,16%.

5.2. Saran

Dari hasil pengujian penelitian yang berjudul analisis pengaruh bahan bakar limbah terhadap kinerja turbin uap skala prototipe, jenis limbah yang digunakan sebagai bahan bakar yaitu limbah filter rokok. Filter rokok mengandung beberapa zat berbahaya seperti selulosa asetat, oleh karena itu peneliti menyarankan untuk menggunakan bahan bakar biomassa lain nya yang ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Albert sihaloho, sihol. (2023). *Analisis Perpindahan Panas Pada Boiler Pipa Api Skala Model Tekanan Uap 7 Kg/Cm²*.
- Ambarita, H. (n.d.). *Review Siklus Tenaga Uap Vapor Power Cycles*.
- Engineering, J. O. F., Science, A., & Engineering, F. O. F. (2020). *Kinetics of pyrolysis of cigarette butts n. y. selem 1 , n. f. al hosesny 2 , and el - s. m. h. el - zahed 2. 67(8), 1981–1993*.
- Hendianto, M. R., & Hendrasarie, N. (2020). Kemampuan Filter Rokok Non-Pakai Sebagai Adsorben Dalam Mengurangi Gas Emisi CO Dan HC. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(4), 1427–1433.
<https://doi.org/10.32672/jse.v5i4.2355>
- Irfan. (2024). Analisis Kinerja Pada Ruang Bakar Boiler Pipa Api Skala Model Dengan Tekanan Uap 700 Kpa Dengan Menggunakan Bahan Bakar Cangkang Kemiri.
- Pertiwi, Y. M., Hanifah, U. N., Sakti, A. B., Prayogi, A. A., Studi, P., Lingkungan, T., Teknik, F., Dan, S., Indonesia, U. I., Studi, P., Elektro, T., Industri, F. T., & Indonesia, U. I. (2020). Eco Powerbank : Pemanfaatan Limbah Puntung Rokok Menjadi Bahan Dalam Media Penyimpan. *Khazanah: Jurnal Mahasiswa*, 2.
- Santiatma, I. (2017). Pemodelan dan Analisa Boiler Menggunakan Kesetimbangan Massa dan Energi. In *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.

LAMPIRAN

Lampiran 1. A-5 saturated water pressure table.

Press	UF	Ufg	Hf	Hfg	Hg	sf	Sfg	Sg
101,325	418,95	2087	419.06	2256,6	2675,6	1,3069	6,0476	7,3545

Lampiran 2. A-5 Saturated Water-Pressure

Press	Uf	Ufg	Ug	hf	Hfg	hg	sf	sfg	sg
300	561,11	1982,1	2543,2	561,43	2163,5	2724,9	1,6717	5,3200	6,9917
400	604,22	1948,9	2553,1	604,66	2133,4	2738,1	1,7765	5,1191	6,8955
500	639,54	1921,2	2560,7	640,09	2108	2748,1	1,8604	4,9603	6,8207
600	669,72	1897,1	2566,8	670,38	2085,8	2756,2	1,9308	4,8285	6,7593
700	696,23	1875,6	2571,8	697	2065,8	2762,8	1,9918	4,7153	6,7071

Lampiran 3. Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Daya Pompa (kW)	5	0,006656428	0,00133129	1,892E-07
Energi Masuk (kW)	5	38,20376644	7,64075329	0,32324071
Daya Turbin (kW)	5	13,30265399	2,6605308	0,00787954
Daya Netto(kW)	5	13,29599756	2,65919951	0,00780837

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	152,6435874	3	50,8811958	600,494218	1,2E-16	3,23887152
Within Groups	1,35571519	16	0,0847322			
Total	153,9993026	19				