

# TUGAS AKHIR

## ANALISA EFISIENSI TURBIN UAP PADA PABRIK KELAPA SAWIT SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK

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

**Disusun Oleh:**

**MUHAMMAD FADHIL PRATAMA**  
2007230040



# UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Fadhil Pratama  
NPM : 2007230040  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir : Analisa Efisiensi Turbin Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit  
Sebagai Pembangkit Listrik  
Bidang Ilmu : Konversi Energi

Telah diperiksa oleh Dosen Pembimbing dan dinyatakan dapat dilanjutkan untuk mengikuti sidang tugas akhir penelitian pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 14 Oktober 2024

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Munawar A Siregar, ST, MT

Dosen Penguji II



Arya Rudi NST, ST, MT

Dosen Penguji III



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

Ketua Program Studi Teknik Mesin



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

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Fadhil Pratama  
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 08 Mei 2002  
NPM : 2007230040  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

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

**“Analisa Efisiensi Turbin Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Pembangkit Listrik”**

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

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

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

Medan, 14 Oktober 2024  
Saya yang menyatakan



Muhammad Fadhil Pratama

## ABSTRAK

Turbin uap merupakan penggerak awal dengan menghasilkan energi kinetik dari uap. Kemudian, energi kinetik ini diubah menjadi energi mekanis melalui putaran poros turbin. Poros turbin dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan langsung atau melalui roda gigi reduksi. Jika proses di industri kelapa sawit terhambat, hal itu sering menyebabkan turbin uap mengalami masalah atau tidak berfungsi dengan baik karena kerusakan pada bagian komponen. Akibatnya, proses turbin uap dapat terhambat dan mengurangi efisiensi. Nilai efisiensi turbin uap paling tertinggi yaitu pada tanggal 6 Agustus 2024 dengan total 32,20 % dengan kerja turbin 1829,07 kJ/kg dan nilai terendah pada tanggal 1 September 2024 sebesar 27,34% dengan kerja turbin 2008,27 kJ/kg serta untuk fraksi uap ( $X$ ) seluruhnya  $< 1$  atau disebut saturated steam atau steam basah. efisiensi aktual turbin uap dengan design turbin uap tersebut lebih dari setengah nilai efisiensi design. Nilai efisiensi turbin uap baik tinggi dan juga rendah dipengaruhi oleh suhu yang masuk ke dalamnya. Oleh karena itu, semakin tinggi suhu atau energi yang masuk ke dalam turbin, semakin baik efisiensi turbin, begitu juga sebaliknya, perubahan entalpi dan kerja turbin secara keseluruhan. Dengan kata lain, semakin banyak kerja turbin, semakin rendah efisiensi turbin. Daya output yang dihasilkan turbin melalui generator. Di dapatkan daya atau beban tertinggi pada tanggal 6 Agustus 2024 sebesar 589 KW dan terendah pada tanggal 10 Agustus 2024 sebesar 547 KW.

Kata kunci: Turbin uap, efisiensi turbin, pabrik kelapa sawit

## **ABSTRACT**

*The steam turbine is the initial mover by producing kinetic energy from steam. Then, this kinetic energy is converted into mechanical energy through the rotation of the turbine shaft. The turbine shaft is connected to a mechanism that is driven directly or via a reduction gear. If processes in the palm oil industry are hampered, this often causes steam turbines to experience problems or not function properly due to damage to component parts. As a result, the steam turbine process can be hampered and reduce efficiency. The highest steam turbine efficiency value is on August 6 2024 with a total of 32.20% with turbine work of 1829.07 kJ/kg and the lowest value on September 1 2024 is 27.34% with turbine work of 2008.27 kJ/kg and for the steam fraction (X) all < 1 or called saturated steam or wet steam. The actual efficiency of the steam turbine with this steam turbine design is more than half the design efficiency value. Both high and low steam turbine efficiency values are influenced by the temperature entering it. Therefore, the higher the temperature or energy entering the turbine, the better the turbine efficiency, and vice versa, the change in enthalpy and overall turbine work. In other words, the more work the turbine does, the lower the turbine efficiency. The output power produced by the turbine is through a generator. The highest power or load was obtained on August 6 2024, amounting to 589 KW and the lowest on August 10 2024, amounting to 547 KW.*

*Keywords: Steam turbine, turbine efficiency, palm oil factory*

## **KATA PENGANTAR**

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa Efisiensi Turbin Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Pembangkit Listrik” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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

1. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing dan Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Marabdi Siregar S.T.,M.T selaku sekretaris yang Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesinan kepada penulis.
5. Ucapan terima kasih yang teristimewa yang tak terhingga kepada kedua orang tua saya, panutan saya ayahanda Irwanto dan pintu surgaku ibunda Herliana, adik kandung saya Nabil Dwi Pradika, beliau memang tidak sempat merasakan pendidikan sampai bangku perkuliahan, namun beliau dapat mendidik dan mengarahkan yang terbaik, yang selalu memberikan dukungan material, semangat dan doa yang tiada hentinya kepada saya selama melaksanakan pendidikan hingga selesai.
6. Ananda hanyadani yang memberi inspirasi untuk terus melangkah maju kedepan, menjadi teman bertukar pikiran, tempat berkeluh kesah dan menjadi support system penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

7. Kedua almarhumah nenek saya yang mana telah menjaga dan memberikan kasih sayang saya sewaktu kecil.
8. Kepada keluarga dan sahabat-sahabat penulis saya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.
9. Bapak dan ibu staf administrasi di biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. terima kasih untuk diri sendiri M. Fadhil Pratama terima kasih sudah menepikan ego dan memilih untuk kembali bangkit dan tidak pernah menyerah untuk menyelesaikan semua ini, kamu hebat M.Fadhil Pratama.

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

Medan, 14 Oktober 2024



M. Fadhil Pratama

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN TUGAS AKHIR</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	3
1.3. Ruang lingkup	4
1.4. Tujuan	4
1.5. Manfaat	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>5</b>
2.1. Turbin Uap	5
2.1.1. Prinsip Kerja Turbin Uap	5
2.1.2. Komponen Utama Turbin Uap	6
2.1.3. Identifikasi Kegagalan Turbin Uap	8
2.2. Boiler	10
2.3. Proses Pembentukan Uap	11
2.3.1. <i>Saturated Steam</i>	12
2.3.2. <i>Superheated Steam</i>	12
2.4. Termodinamika	12
2.4.1. Hukum Termodinamika pertama	13
2.4.2. Hukum Termodinamika kedua	15
2.5. Efisiensi Turbin Uap	16
2.5.1. Fraksi Uap	16
2.5.2. Kerja Turbin	16
<b>BAB 3 METODOLOGI</b>	<b>17</b>
3.1. Tempat dan Waktu	17
3.2. Bahan dan Alat	17
3.2.1. Bahan	17
3.2.2. Alat	17
3.3. Bagan Alir Penelitian	22
3.4. Rancangan Alat Penelitian	23
3.5. Prosedur Penelitian	23
3.6. Variabel	23
3.6.1. Variabel Bebas	23
3.6.2. Variabel Tetap	34

3.7	Pengumpulan Data	23
3.8	Pengolahan Data	24
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>25</b>
4.1	Analisa Pembahasan Efisiensi Turbin Uap	25
4.1.1	Entalpi Masuk	25
4.1.2	Entropi Masuk	26
4.1.3	Energi Keluar	27
4.1.4	Fraksi Uap	29
4.1.5	Entalpi Keluar	29
4.1.6	Perubahan entalpi	29
4.1.7	Kerja Turbin Uap	29
4.1.8	Efisiensi Turbin Uap	30
4.2	Daya Output Turbin	31
4.3	Alternatif Solusi Dengan <i>Diagram Fish Bone</i>	33
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>35</b>
5.1.	Kesimpulan	35
5.2.	Saran	35
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>36</b>
	<b>Lampiran 1. Hasil Penelitian</b>	
	<b>Lampiran 2. Lembar Asistensi</b>	
	<b>Lampiran 3. SK Pembimbing</b>	
	<b>Lampiran 4. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian</b>	
	<b>Lampiran 5. Daftar Riwayat Hidup</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu Penelitian	17
Tabel 3.2 Spesifikasi turbin uap	18
Tabel 4.1 Data parameter 1 tanggal 06 Agustus 2024	25
Tabel 4.2 Entalpi	26
Tabel 4.3 Entropi	27
Tabel 4.4 Data interpolasi table	27
Tabel 4.5 $s_f2$ (entropi cair jenuh) dan $s_{fg}2$ (entropi evaporasi)	28
Tabel 4.5 $h_f2$ (entalpi cair jenuh) dan $h_{fg}2$ (entalpi evaporasi)	28

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 turbin uap	5
Gambar 2.2 erosi pada sudu	9
Gambar 2.3 Boiler	10
Gambar 2.12 diagram proses pembentukan uap	11
Gambar 3.1 Turbin uap	18
Gambar 3.2 <i>Pressure gauge</i>	19
<i>Gambar 3.3 Panel Box Turbine</i>	19
Gambar 3.4 Turbin Control Panel	20
Gambar 3.5 Power Meter	20
Gambar 3.7 <i>Boiler</i>	21
Gambar 3.8 Panel parameter <i>boiler</i>	21
Gambar 3.12 Diagram Alir	22
Gambar 4.1 Efisiensi turbin uap	30
Gambar 4.2 Daya Output Turbin Uap	31
Gambar 4.3 Diagram <i>fish bone</i> penurunan efisiensi serta kegagalan Turbin uap	32

## DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
P1	Tekanan awal	Kg/cm <sup>2</sup>
P2	Tekanan akhir	Kg/cm <sup>2</sup>
V1	Volume awal	m <sup>3</sup>
V2	Volume akhir	m <sup>3</sup>
T1	Temperatur awal	°C
T2	Temperatur akhir	°C
H	Entalpi sistem	<i>Joule</i>
U	Energi internal	<i>Joule</i>
P	Tekanan dari sistem	Pa
V	Volume sistem	m <sup>3</sup>
δU	Energi total	Kcal/kWh
δV	Kalor total	Kcal/kWh
δW	Kerja total	kJ/kg
h1	Entalpi uap masuk	kJ/Kg
h2	Entalpi uap keluar	kJ/Kg
Δh	Perubahan Entalpi	kJ/kg
s1	Entropi Inlet Turbin	kJ/Kg.K
X	Fraksi uap	
Wt	Kerja isentropik turbin	kJ/kg
W <sub>aktual</sub>	Kerja aktual turbin	KW
<i>m</i>	Laju aliran massa uap	Kg/s
hf2	Entalpi cairan jenuh	kJ/Kg
hfg2	Entalpi evaporasi	kJ/Kg
sf2	Entropi cairan jenuh	kJ/Kg.K
sfg2	Entropi evaporasi	kJ/Kg.K
η	Efisiensi turbin	%

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Energi dibutuhkan bagi kehidupan manusia, adapun salah satu energi yang dibutuhkan untuk kehidupan manusia yaitu energi listrik. Energi listrik sangat dibutuhkan oleh manusia untuk berbagai keperluan, baik itu untuk keperluan industri, dan infrastruktur lainnya. Energi listrik yang besar dan penggunaannya yang terus menerus tidak dapat tersedia secara alami. (Fathan Fadhlur, 2016)

Dunia industri saat ini mengalami perkembangan pesat. Perkembangan itu ditandai dengan berkembangnya ilmu dan teknologi yang akhirnya akan mengakibatkan bertambahnya persaingan khususnya dikalangan industri, sehingga manusia dituntut untuk mempersiapkan diri dalam menghadapi perkembangan ilmu dan teknologi dibidangnya masing-masing. Saat ini salah satu energi yang sangat dibutuhkan manusia ialah energi listrik. Energi listrik di perlukan manusia untuk berbagai keperluan untuk menunjang aktifitas manusia baik itu untuk keperluan rumah tangga, perkantoran serta industri. Maka pada saat ini dibutuhkan pembangkit listrik yang handal. (Arrazi et al., 2023)

Provinsi Sumatera Utara adalah daerah perkebunan dan salah satu komoditi yang dihasilkan dari perkebunan tersebut adalah kelapa sawit. Pada umumnya pabrik pengolahan kelapa sawit berlokasi disekitar perkebunan yang bersangkutan sebagai transit yang terdekat, sehingga kelapa sawit yang telah dipanen dapat secepatnya sampai dipabrik untuk diolah. Untuk rnengolah buah kelapa sawit banyak dibutuhkan mesin dan pembangkit daya. Salah satu mesin yang berada dipabrik pengolahan kelapa sawit adalah "Turbin Uap". (Sapto, 2003)

Sebab sumber energi sangat efektif atau efisien untuk dikonversikan menjadi bentuk energi yang lain seperti suatu pembangkit tenaga listrik yaitu turbin uap penggerak generator. Menurut (Lubis et al., 2020) Generator atau altenator adalah suatu alat elektromekanikal yang mengkonversi daya mekanis menjadi energi elektrik. Pada prinsipnya generator dapat juga disebut sebagi altenator, tetapi biasanya altenator lebih mengacu pada bentuk yang lebih kecil yang biasa digunakan pada otomotif. Energi listrik merupakan suatu unsur yang sangat penting bagi masyarakat, karena energi listrik bisa menyangkut hampir semua

aspek kehidupan yang selalu dibutuhkan setiap harinya. Didalam pabrik, energi listrik dimanfaatkan untuk mengoperasikan peralatan-peralatan mesin yang ada di pabrik. Salah satu mesin konversi energi yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik adalah turbin uap. Turbin uap tersebut digerakkan oleh suatu tenaga mula yang menggunakan tenaga uap. Dimana uap yang dari boiler dimanfaatkan untuk memutar sudu-sudu turbin yang dihubungkan dengan poros untuk memutar generator. (Sinaga et al., 2022)

Turbin uap merupakan salah satu komponen utama atau pokok utama di pabrik kelapa sawit, yang peran nya dapat menggantikan PLN sebagai penghasil listrik yang di gunakan pada pabrik. (Siagian, 2021) Turbin uap pada pabrik kelapa sawit merupakan sumber utama pembangkit tenaga listrik. Turbin tersebut dapat berkerja dikarenakan adanya uap yang diperoleh dari boiler. Sistem pembangkit tenaga uap merupakan suatu kebutuhan penting untuk keberlangsungan sebuah pabrik kelapa sawit dalam peroses pengolahannya. Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Perhitungan daya dan efisiensi turbin dalam hal ini sangat diperlukan untuk mengetahui penurunan performa kinerja turbin sebagai dasar perbaikan atau bahan dasar pertimbangan dalam pengoperasian turbin sehingga turbin dapat berkerja secara maksimal. Bahwa besar kecilnya efisiensi isentropik dipengaruhi oleh selisih dari kerja turbin tiap aliran massa uap terhadap kerja isentropik turbin, semakin kecil selisihnya maka efisiensi akan semakin besar sedangkan jika semakin besar selisihnya maka efisiensi akan semakin kecil dan jika tekana. (Sinaga et al., 2022)

Turbin tersebut dapat berkerja dikarenakan adanya uap yang diperoleh dari boiler. Bahan bakar boiler yang digunakan untuk menghasilkan uap seperti serabut (fiber) dan cangkang (chell). Dimana bahan bakar tersebut sangat mudah diperoleh karena merupakan limbah dari pengolahan sawit sehingga instalasi ini sangat mudah dan hemat biaya operasionalnya. Dari pemamparan diatas jelas bahwa sistem pembangkit tenaga uap merupakan suatu kebutuhan penting untuk keberlangsungan sebuah pabrik kelapa sawit dalam peroses pengolahannya memproduksi CPO dan PKO. Dalam setiap stasiun proses pengolahan kelapa sawit,

turbin uap memiliki peran penting dan berpengaruh terhadap kinerja dari keseluruhan sistem. (Sinaga et al., 2022)

Turbin uap termasuk dalam kelompok pesawat-pesawat konversi energy potensial uap menjadi energy mekanik pada poros turbin uap. Poros turbin uap langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, transportasi, penerangan lampu, serta untuk pembangkit bertenaga listrik. Energi listrik yang terdapat pada rumah-rumah masyarakat yang di sekitar pabrik kelapa sawit memiliki kapasitas per rumah yaitu 500 watt. (Wahyudi, 2019)

Pabrik Kelapa Sawit (PKS) merupakan unit produksi yang membutuhkan sumber energi yang sangat besar yang digunakan untuk mengendalikan mesin dan peralatan yang membutuhkan energi dalam jumlah besar. Permintaan energi ini ditutupi dan diumpankan oleh boiler dan generator. Boiler atau ketel uap merupakan suatu mesin yang memegang peranan penting dalam kelangsungan operasi suatu pabrik kelapa sawit yaitu. boiler adalah jantung dari pabrik. (Tarigan & Supriyanto, 2023)

Pabrik kelapa sawit memiliki efisiensi turbin yang rendah. Sehingga efisiensi turbin uap menurun dan menyebabkan daya listrik yang keluar tidak sesuai dengan keluaran generator, karena itu dilakukan penelitian untuk meningkatkan efisiensi turbin uap sebagai penggerak generator, sehingga bisa di manfaatkan bagi industri pabrik kelapa sawit. Berdasarkan uraian diatas maka penulis mengambil judul mengenai. “Analisa Efisiensi Turbin Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Pembangkit Listrik” yang akan membahas tentang besarnya kapasitas daya turbin uap.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat di rumuskan permasalahan yang akan di selesaikan sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisa efisiensi turbin uap terhadap kinerja generator?
2. Bagaimana menganalisa daya yang di transfer dari turbin uap ke generator pada pabrik kelapa sawit?

### 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dari tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Perhitungan yang di gunakan sebatas berada di ruang pembangkit turbin di pabrik
2. Menganalisa efisiensi turbin dan daya turbin yang digunakan pada pabrik
3. Spesifikasi turbin dan daya turbin yang digunakan pada pabrik

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk membahas pernyataan dalam kalimat penelitian yang menunjukkan hasil yang di peroleh setelah proses penelitian selesai.

Tujuan penelitian dari tugas akhir ini adalah :

1. untuk menganalisis efisiensi tertinggi turbin uap terhadap kinerja generator.
2. Untuk menganalisis daya output tertinggi turbin uap.

### 1.5 Manfaat Penelitian

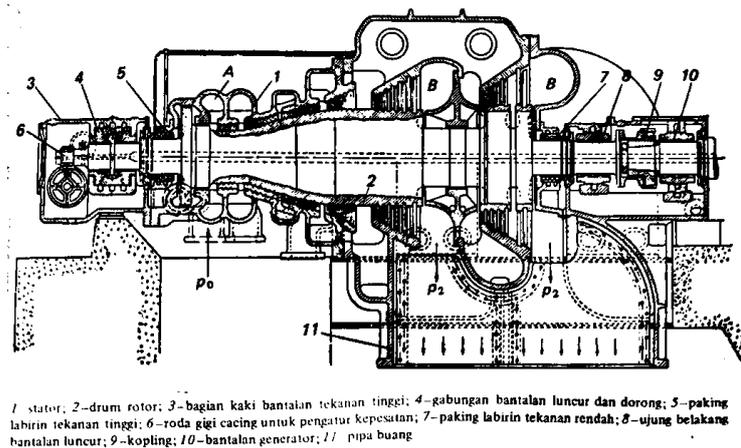
Laporan tugas akhir ini di harapkan bermanfaat bagi :

1. Membawa keuntungan bagi industri sebagai pertimbangan untuk meningkatkan daya dan efisiensi turbin uap di industri kelapa sawit.
2. Manfaat bagi penulis menambah pengetahuan dan pengalaman sehingga kegiatan yang sama dapat di lakukan setelah bekerja atau terjun ke lapangan.
3. Sebagai pengembangan pengetahuan mahasiswa dan bahan refrensi tambahan.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Turbin Uap

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energy mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digerakkan, turbin uap dapat digunakan pada industri, untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk transportasi (P.Shlyakhin, 1999)



Gambar 2.1 Turbin Uap (P.Shlyakhin, 1999)

#### 2.1.1 Prinsip Kerja Turbin Uap

Secara singkat prinsip kerja turbin uap menurut (A.J.M., 1879) adalah sebagai berikut :

1. Uap masuk kedalam turbin melalui nosel. Didalam nosel energi panas dari uap dirubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nosel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk ke dalam nosel. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin itu dibelokkan kearah mengikuti lengkungan

dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin.

2. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin berarti hanya sebagian yang energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan. Supaya energi kinetis yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dimanfaatkan maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak.
3. Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak. Maka antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (*guide blade*) yang berguna untuk mengubah arah kecepatan uap, supaya uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.
4. Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil.

#### 2.1.2 Komponen-komponen turbin uap

Secara umum, bagian-bagian utama dari sebuah turbin uap yaitu (Setiawan, 2023)

1. *Cassing*

*Cassing* adalah sebagai penutup bagian-bagian utama turbin.

2. *Rotor*

*Rotor* adalah bagian turbin yang berputar yang terdiri dari poros, sudu turbin atau deretan sudu yaitu *stasionary blade* dan *moving blade*. Untuk turbin bertekanan tinggi atau ukuran besar, khususnya untuk turbin jenis reaksi maka motor ini perlu di *balance* untuk mengimbangi gaya reaksi yang timbul secara aksial terhadap poros.

3. *Journal Bearing*

*Journal bearing* adalah bagian yang berfungsi untuk menahan gaya radial atau gaya tegak lurus *rotor*.

4. *Thrust Bearing*

*Thrust bearing* adalah bagian turbin yang berfungsi untuk menahan atau untuk menerima gaya aksial atau gaya sejajar terhadap poros yang merupakan gerakan maju mundur nya poros *rotor*.

5. *Main Oil Pump*

*Main oil pump* berfungsi untuk memompakan oli dari tangki untuk disalurkan pada bagian-bagian yang berputar pada turbin.

6. *Set Carbons*

*Set Carbons* berfungsi menahan kebocoran uap

7. *Labirint Seal*

*Labirint Seal* berfungsi menahan kebocoran oli.

8. *Impuls Stage*

*Impuls stage* adalah sudu-sudu turbin tingkat pertama yang berjumlah sebanyak 116 buah.

9. *Stasionary Blade*

*Stasionary blade* adalah sudu-sudu yang berfungsi menerima dan merubah energi uap bertekanan dan mengarahkan uap yang masuk.

10. *Moving Blade*

*Moving blade* adalah sudu-sudu yang berfungsi untuk menerima dan mengubah energi uap yang masuk menjadi energi kinetik yang akan memutar generator melalui poros yang terhubung.

11. *Control Valve*

*Control valve* adalah katup yang berfungsi untuk mengatur uap yang masuk kedalam turbin sesuai dengan jumlah uap yang dibutuhkan.

12. *Stop Valve*

*Stop valve* merupakan katup yang berfungsi untuk menyalurkan atau menghentikan aliran uap yang menuju ke turbin.

13. *Reducing Gear*

*Reducing gear* merupakan bagian turbin yang biasanya terpasang pada turbin-turbin dengan kapasitas besar dan berfungsi untuk mengurangi putaran poros rotorturbin. *Reducing gear* terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

- a. *Gear casing* merupakan penutup *gear box* untuk melindungi bagian dalam dari *reducing gear*.

- b. *Pinion (high speed gear)* merupakan roda-roda gigi dengan tipe *helical* yang putarannya merupakan putaran dari poros rotor turbin.
- c. *Gear wheel (low speed gear)* merupakan roda-roda gigi tipe *helical* yang putarannya akan mengurangi jumlah putaran dari poros rotor turbin.
- d. *Pinion bearing* yaitu bantalan yang berfungsi untuk menahan/menerima gaya tegak lurus dari *pinion gear*.
- e. *Pinion holding ring* yaitu *ring* yang berfungsi menahan *pinion bearing* terhadap gaya radial *shaft pinion gear*.
- f. *Wheel bearing* merupakan bantalan yang berfungsi untuk menerima atau menahan gaya radial atau gaya tegak lurus dari *shaft gear wheel*.
- g. *Wheel holding ring* merupakan *ring* penahan dari *wheel bearing* terhadap gaya radial dari *shaft gear wheel*
- h. *Wheel trust bearing* merupakan bantalan yang berfungsi untuk menahan atau menerima gaya aksial *gear wheel* yang bergerak.

### 2.1.3 Identifikasi Kegagalan Turbin Uap

Muin, 1993 menegaskan dalam (Setiawan, 2023)“bahaya bukan hanya korosi saja, yang menyebabkan sudu erosi atau aus, tetapi menurunnya energi mekanik yang mengakibatkan menurunnya efisiensi turbin dan serta naiknya kerugian energi”.

(Sibarani. A. I., 2019) menerangkan Turbin Uap sangatlah sensitif terhadap kualitas steam yang di gunakan. Tetapi ini tergantung dari jenis dan type Turbin yang kita gunakan. Pada intinya adalah suplai steam (uap) baik tekanan ataupun temperature haruslah terpenuhi. Dan jangan sampai terjadi carry over karna hal ini sangatlah berbahaya. Adapun beberapa kerusakan akibat kualitas steam yang buruk, antara lain :

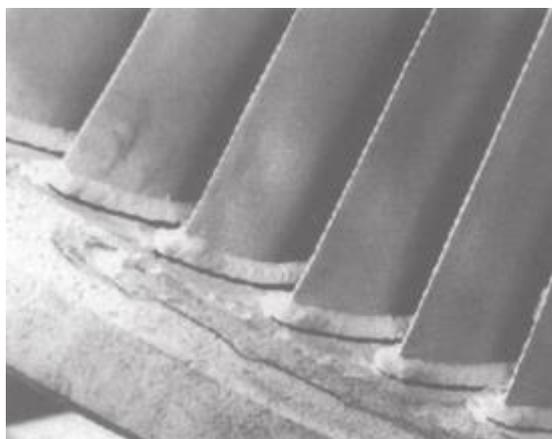
#### 1. Vibrasi pada turbin uap

(Lubis et al., 2021) menjelaskan vibrasi tinggi ini harus segera di respon baik anda sebagai operator, sebagai supervisi ataupun penanggung jawab lainnya. Karena hal ini merupakan tanda bahwa ada sesuatu yg mengalami kerusakan. Jika

anda menemukan kondisi ini segera untuk di lakukan pengecekan. Dan jika anda paksakan bisa fatal. Umumnya getaran terjadi pada area *bearing*. menjelaskan bearing merupakan salah satu bagian dari elemen mesin yang memegang peranan cukup penting karena fungsi dari bantalan yaitu untuk menumpu sebuah shaft agar shaft dapat berputar tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. Bantalan harus cukup kuat untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik sesuai fungsinya.

## 2. Erosi pada sudu

( Umurani et al., 2020) Menjelaskan sudu adalah bagian dari turbin, dimana konversi energi terjadi sudu terdiri dari bagian akar sudu badan sudu dan ujung sudu kemudian di rangkai sehingga membentuk satu lingkaran penuh. Masalah uap basah telah menjadi isu penting dalam industri turbin uap. Hal ini menyebabkan penurunan efisiensi dan erosi air pada sudu (Li et al., 2014) . Ada banyak efek mekanis karena adanya uap basah di turbin, di mana masalah utamanya adalah erosi bilah yang bergerak (Sector, 2005). Dengan erosi di artikan pengrusakan oleh gesekan dan sentuhan uap pada sudu. Pengaruh ini lebih terasa lagi dibagian turbin pada saat dimana uap mengalami perubahan dari keadaan jenuh menjadi basah. Kerusakan pada sudu turbin penyebab utamanya adalah karena carry over. Sudu turbin yang seharusnya di dorong oleh steam kering tetapi ini bercampur dengan air. Mengakibatkan kerusakan pada sudu-sudu. Bisa berupa bintik-bintik lubang kecil bahkan sampai keausan yang tinggi. (Sibarani. A. I., 2019)



Gambar 2.15 Erosi pada sudu turbin (Sector, 2005)

## 2.2 Boiler

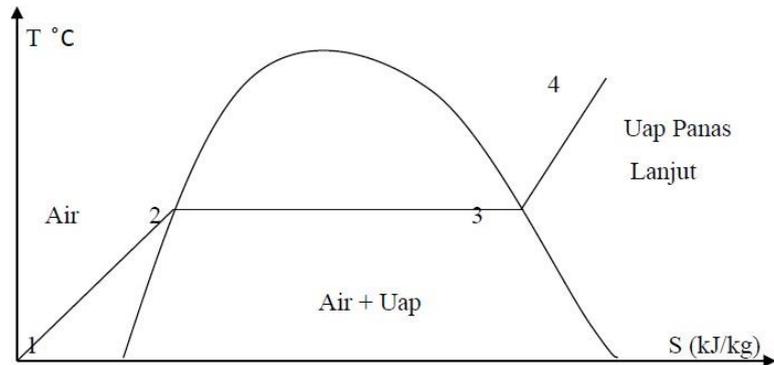
Peralatan yang dikenal sebagai boiler menghasilkan *steam* (uap) untuk berbagai kebutuhan industri dan proses produksi. Air boiler dipanaskan oleh panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar atau sumber panas lainnya. Panas berpindah dari sumber panas tersebut ke air, meningkatkan suhu air dan mengubahnya menjadi uap. (Fatimura, 2015).

boiler adalah sebuah alat untuk menghasilkan uap, yang terdiri atas dua bagian penting yaitu dapur pemanasan untuk menghasilkan panas yang didapat dari pembakaran bahan bakar dan boiler proper untuk mengubah air menjadi uap. Boiler mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Boiler dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar. (Purba, 2020) menyatakan boiler memiliki 2 komponen utama, yaitu :



Gambar 2.3 Boiler (Purba, 2020)

### 2.3 Proses pembentukan uap



Gambar 2.12 diagram proses pembentukan uap (Prasojo. F. F., 2022)

Panaskan air dari keadaan awalnya (titik 1) ke keadaan cair jenuh (titik 2). Pemanasan dari titik 1 ke titik 2 hanya menaikkan suhu tetapi tidak mengubah fasa cair. Perubahan fase terjadi ketika air yang telah mencapai keadaan titik 2 dipanaskan secara terus menerus. Dalam hal ini, pemanas tidak menaikkan suhu air yang dipanaskan. Pasokan panas selanjutnya mengubah titik air menjadi fase uap atau memanaskannya dari titik 2 ke titik 3 (Prasojo. F. F., 2022).

Energi panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar diubah menjadi uap, yang meningkatkan entalpi air sehingga terbentuk uap air, yang mengandung energi dalam yang disimpan dalam bentuk panas dan tekanan. Menyentuh titik didih air adalah proses pembentukan uap, di mana fluida kerjanya adalah air. Titik didih suatu zat cair tergantung pada tekanan yang diberikan pada permukaan zat cair. (El-Wakil, 2015).

(Prasojo. F. F., 2022) menegaskan Adapun kelebihan penggunaan air sebagai fluida kerja adalah :

- Mudah diperoleh dengan biaya yang murah.
- Air dapat bersifat netral ( $\text{pH} = 7$ ), sehingga sifat korosif yang merusak logam dapat diatasi.
- Air tidak dapat terbakar.
- Mampu menerima kalor dalam jumlah besar.
- Dapat bekerja pada tekanan yang tinggi.

### 2.3.1 *Saturated Steam*

(Setiawan, 2023) menegaskan, Saturasi uap adalah ketika tekanan dan suhu uap air sama dengan air fase cair atau cair. Uap saturasi menjadi fase transisi antara air fase cair dengan air fase gas murni, atau yang biasa kita kenal dengan uap panas lanjut (*superheated steam*). Pada saat air berada dalam fase transisi ini, terjadi pencampuran antara air fase cair (kita kenal dengan istilah *saturated water*) dengan air fase gas (kita kenal dengan istilah *saturated steam*) dalam proporsi yang sesuai dengan jumlah panas laten yang diserap fluida.

*Saturated steam* ini mulai terbentuk tepat pada saat air mencapai titik didihnya (titik *saturated water*), hingga semua energi dari panas laten diserap oleh air. Di saat seluruh panas laten telah diserap oleh air, dan jumlah fase uap sudah mencapai hampir 100% dibandingkan dengan fase cairnya, maka itulah batas akhir dari fase uap saturasi. Proses mencapai hampir 100% fase uap tersebut terjadi pada satu besaran tekanan dan temperatur konstan. Selanjutnya jika energi panas terus diberikan kepada uap saturasi, maka akan terjadi kenaikan temperatur fluida dan mendorong uap untuk berubah fase menjadi uap panas lanjut (*superheat*) (Polsri, 2019).

### 2.3.2 *Superheated Steam*

Uap panas lanjut, juga disebut sebagai uap panas lanjut, dihasilkan oleh alat superheater yang menghilangkan kadar air dalam uap dengan meningkatkan suhu uap jenuh atau uap yang penuh. ( V.Wahyu Endriyana, 2013)

## 2.4 Termodinamika

Termodinamika merupakan ilmu pengetahuan yang membahas mengenai panas dan mengenai sifat zat yang berhubungan dengan panas dan kerja. Seperti pengetahuan yang lain, dasar termodinamika adalah suatu pengamatan dan eksperimental. Dalam ilmu termodinamika, berbagai penemuan ini dinyatakan dalam suatu bentuk hukum termodinamika yang pertama, kedua dan ketiga (El-Wakil, 2015)

#### 2.4.1 Hukum termodinamika pertama

Hukum ini menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dilenyapkan. Energi dari suatu sistem yang mengalami perubahan (proses) dapat bertambah atau berkurang oleh pertukaran dengan lingkungan dan diubah dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain di dalam sistem itu sendiri. Maka, hukum ini adalah semata-mata hukum “tata-buku” yang menyatakan pertukaran dalam kemampuan perubahan energi dan menjaga bahwa dalam setiap perubahan semua energi harus diperhitungkan (El-Wakil, 2015).

Hukum pertama tidak menunjukkan apakah suatu perubahan energi dari suatu bentuk ke bentuk yang lain akan berjalan secara sempurna atau tidak, atau apakah beberapa bentuk dari suatu energi dapat dikonversikan secara penuh ke bentuk yang lain. Masalah keterbatasan tersebut akan berlaku dan diserahkan kepada hukum termodinamika kedua (El-Wakil, 2015).

(El-Wakil, 2015) Menjelaskan didalam sistem termodinamika dikenal 4 proses perubahan wujud atau pengukuran energi, yaitu :

a. Proses pada tekanan konstan (isobarik)

Pada proses tekanan konstan, tekanan awal proses sama dengan tekanan akhir proses atau  $p_1 = p_2$ .

b. Proses pada volume konstan (isokhorik)

Pada proses isokhorik, volume awal akan sama dengan volume akhir gas atau  $V_1 = V_2$

c. Proses pada temperatur konstan (isotermal)

Pada proses isotermal, temperatur awal proses akan sama dengan temperatur akhir proses atau  $T_1 = T_2$ .

d. Proses adiabatik reversibel (isentropi)

Proses adiabatik reversibel adalah proses termodinamika dimana tidak ada kalor yang masuk atau keluar dari sistem (adiabatik) dan proses ini mampu balik (reversibel) artinya tidak ada hambatan atau gesekan.

a. Entalpi

(Setiawan, 2023) Menjelaskan dalam termodinamika, entalpi adalah istilah yang menunjukkan jumlah energi internal suatu sistem termodinamika bersama

dengan energi yang digunakan untuk melakukan kerja. Namun, entalpi hanya dapat dihitung melalui nilai perubahan. Secara matematis, perubahan entalpi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$h = u + pv \quad (2.1)$$

Keterangan :

$h$  = Entalpi sistem (*joule*)

$u$  = Energi internal (*joule*)

$p$  = Tekanan dari sistem (Pa)

$v$  = Volume Sistem ( $m^3$ )

Karena energi dalam  $u$  dan perkalian  $pv$  kedua-duanya memiliki satuan energi,  $H$  juga memiliki satuan energi. Lebih dari itu, karena  $u$ ,  $p$  dan  $v$  merupakan sifat-sifat sistem, maka  $h$  juga sebuah sifat system (El-Wakil, 2015).

b. Mencari Nilai Entalpi *Steam* Masuk ( $h_1$ )

Mencari nilai entalpi dengan cara interpolasi dengan menggunakan table uap (Smith et al., 2022). Untuk menemukan nilai  $h$  dapat dilakukan dengan interpolasi seperti :

$$E = D + \left[ (F - D) \times \left( \frac{B - A}{C - A} \right) \right] \quad (2.2)$$

Dimana :

T	H
A = T1 °C	D = h1 kJ/kg
B = T	E = hx ?
C = T2 °C	F = h2 kJ/kg

c. Mencari nilai entalpi keluar ( $h_2$ )

Dalam menentukan nilai entalpi keluar pada turbin uap digunakan persamaan sebagai berikut :

$$h_2 = h_{2f} + (X \times h_{2fg}) \quad (2.3)$$

d. Perubahan entalpi ( $\Delta h$ )

Perubahan entalpi ( $\Delta h$ ) merupakan selisih antara entalpi masuk dengan entalpi keluar (Prasojo. F. F., 2022)

$$\Delta h = h_1 - h_2 \tag{2.4}$$

#### 2.4.2 Hukum termodinamika kedua

Bila hukum pertama adalah hukum kekekalan energi, yang menyatakan bahwa semua bentuk energi dapat saling dirubah satu sama lain, maka hukum kedua memberi batasan mengenai konversi beberapa bentuk energi menjadi bentuk lain. Ada dua bentuk energi yang paling banyak mendapat perhatian kita, yaitu kalor (*heat*) dan kerja (*work*). Hukum kedua tidaklah membantah kesetaraan dalam konversi kedua bentuk itu, tetapi hanya membatasi sampai dimana konversi itu bisa berlangsung (Merle C Potter & Craig W. Somerton, 2011)

##### a. Entropi

Entropi adalah salah satu besaran termodinamika yang mengukur energi dalam sistem per-satuan temperatur yang tidak dapat digunakan untuk usaha. Dengan kata lain, entropi dalam sistem tertutup selalu naik, karena energi panas berpindah dari bagian yang lebih panas ke bagian yang lebih dingin dalam kondisi perpindahan panas. Pada suatu sistem yang panasnya terisolasi, entropi hanya berjalan satu arah (bukan sistem reversibel atau bolak-balik). (Setiawan, 2023) Entropi suatu sistem perlu diukur untuk menentukan bahwa energi tidak dapat dipakai untuk melakukan kerja pada proses-proses termodinamika. Proses-proses ini hanya bisa dilakukan oleh energi yang sudah dirubah bentuknya dan ketika energi dirubah menjadi kerja atau usaha, maka secara teoritis mempunyai efisiensi maksimum tertentu. Selama kerja atau usaha tersebut, entropi akan terkumpul pada sistem, yang lalu terdisipasi dalam bentuk panas buangan (Merle C Potter & Craig W. Somerton, 2011)

$$E = D + \left[ (F - D) \times \left( \frac{B - A}{C - A} \right) \right] \tag{2.5}$$

Dimana :

T	S
A = T1 °C	D = s1 kJ/kg.K
B = T	E = sx ?
C = T2 °C	F = s2 kJ/kg.K

## 2.5 Efisiensi Turbin

(Jaya, 2020) Menegaskan efisiensi turbin adalah perbandingan kinerja yang sebenarnya dari suatu peralatan dengan kinerja yang dapat dicapai dalam keadaan ideal untuk keadaan masuk dan tekanan keluar yang sama.

Efisiensi turbin merupakan parameter yang menyatakan derajat keberhasilan komponen atau sistem turbin mendekati desain atau proses ideal dengan satuan persen (%) (Prasojo. F. F., 2022) :

(Nasrullah et al., 2023) menjelaskan semakin tidak sejajar arah aliran fluida dengan sudu-sudu turbin, semakin rendah efisiensi konversi energi aliran air menjadi daya yang dihasilkan oleh turbin.

$$\eta_{turbin} = \frac{W_{aktual}}{W_{isentropis}} \times 100\% \quad (2.6)$$

Untuk mengetahui efisiensi turbin uap, beberapa hal harus dipertimbangkan terlebih dahulu, antara lain:

### 2.5.1 Fraksi Uap

(Jaya, 2020) Fraksi uap merupakan banyaknya cairan yang terdapat dalam uap keluar pada turbin. Nilai fraksi digunakan untuk menghitung entalpi keluar turbin. Dalam menentukan efisiensi turbin uap fraksi uap dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$X = \frac{(s1 - sf^2)}{sf^2} \quad (2.7)$$

### 2.5.2 Kerja Turbin

(Setiawan, 2023) Menerangkan Kerja turbin uap ditentukan dengan persamaan dan diperlukan parameter berupa laju aliran massa.

$$W_T = \dot{m} \times \Delta h \quad (2.8)$$

## BAB 3 METODOLOGI

### 1.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Berikut adalah tempat dan waktu penelitian yang dilakukan pada penelitian analisis efisiensi turbin uap pada pabrik kelapa sawit sebagai pembangkit listrik.

#### 1.1.1 Tempat

Penelitian dilakukan di PT.Mulia Tani Jaya *Power House* dan Stasiun *Boiler*.

#### 1.1.2 Waktu

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul	■					
2	Studi Kasus	■					
3	Pembuatan Proposal		■	■			
4	Pengambilan data		■	■	■		
5	Analisa Data				■	■	
6	Penyusunan Laporan Penelitian					■	■
7	Sidang Tugas Akhir						■

### 1.2 Bahan dan Alat

#### 1.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini antara lain adalah :

- a. Data Sekunder yang digunakan adalah *Log sheet* operator
- b. Data Primer yang digunakan adalah wawancara dan dokumentasi.

#### 1.2.2 Alat

##### 1. Turbin

Turbin yang di gunakan di PT. Mulia Tani Jaya adalah *Merk Shinko RB 4* Kapasitas Daya 1000 *Kilowatt* dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.2 Spesifikasi turbin uap

No 1099730	20631	<i>Turbine Speed</i>	5294 RPM
<i>Type</i>	RB 4		
		KW Maksimal	1000
P1	21	Bar abs	260°C
P2	3,3		
1/N	1500	<i>Shinko</i>	



Gambar 3.1 Turbin uap



Gambar 3.2 *Pressure gauge*

2. *Control Panel Turbin uap*

*Control Panel turbin uap yang digunakan di PT. Mulia Tani Jaya*

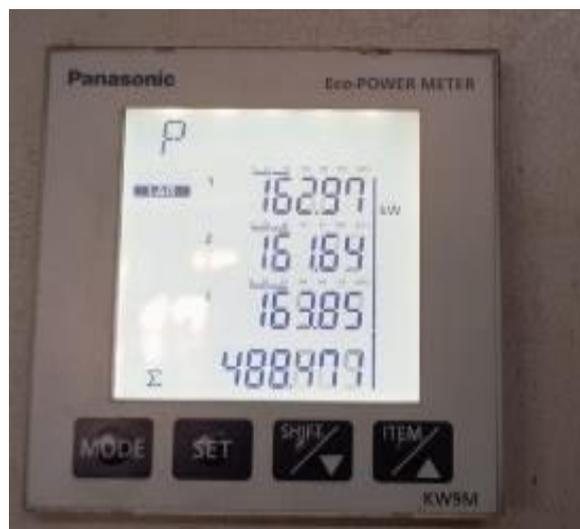


Gambar 3.3 *Control Panel Turbine*

*Control panel* pada turbin uap terdapat parameter-parameter seperti :



Gambar 3.4 Turbin Control Panel



Gambar 3.5 Power Meter

### 3. *Boiler*

*Boiler* yang digunakan pada PT. Mulia Tani Jaya adalah merk Boilermech SDN. BHD Dengan HT Pressure 3750 Kpa



Gamabr 3.7 *Boiler*

### 4. *Panel Parameter boiler*

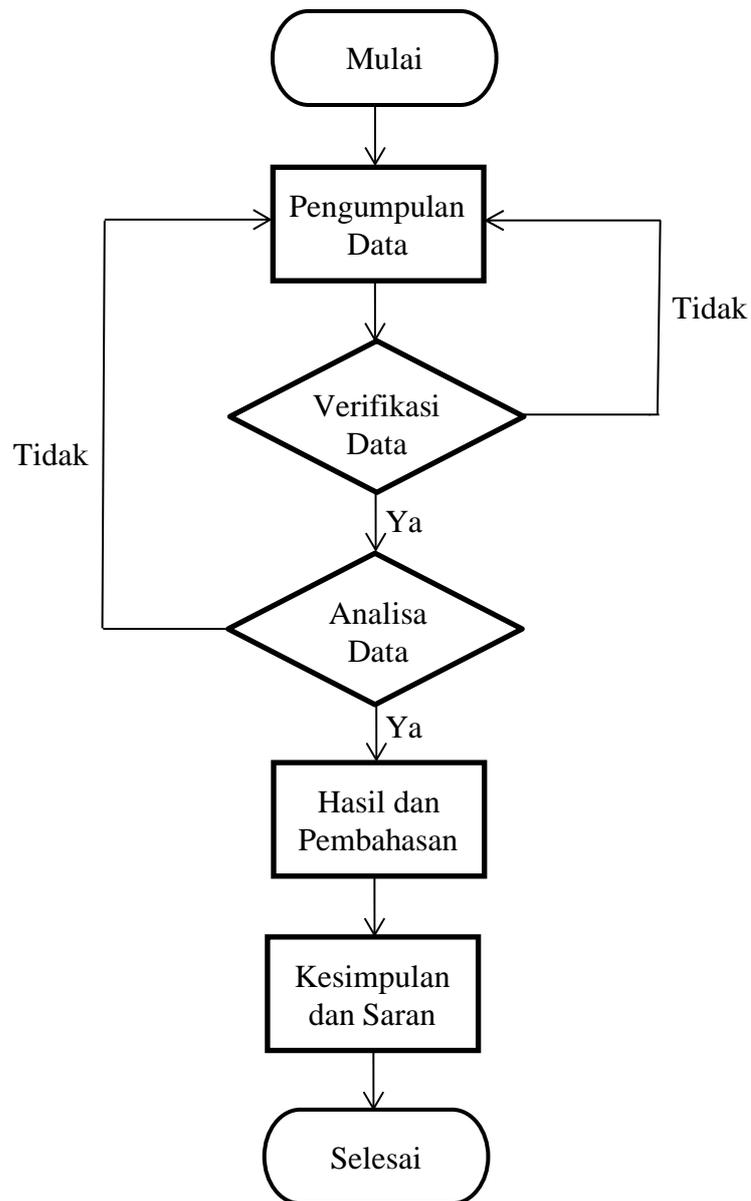
Panel parameter untuk membaca tekanan steam, laju aliran fluida dan parameter lainnya pada *boiler takuma*.



Gambar 3.8 Panel Parameter boiler

### 1.3 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada gambar skematik di berikut ini :



Gambar 3.12 Diagram Alir

#### 1.4 Rancangan Alat Penelitian

Adapun penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan cara mengamati, merangkum dan mencatat data *steam* yang keluar dan masuk kedalam turbin yang sedang beroperasi selama satu bulan untuk mencari nilai efisiensi serta mengumpulkan data nilai frekuensi kegagalan pada komponen turbin uap dengan metode *failure mode and effect analysis*.

#### 3.5 Prosedur penelitian

1. Mencatat *log sheet* harian operator Stasiun *Power House* dan *log sheet* harian stasiun *boiler*.
2. Merangkum data kegagalan turbin uap
3. Melakukan wawancara dengan Operator serta pembimbing lapangan yang mengerti tentang stasiun pembangkit tenaga listrik (*power house*).
4. Melakukan perhitungan analisis nilai entalpi, entropi, fraksi uap, kerja turbin dan efisiensi turbin tersebut serta nilai output tertinggi turbin uap.

#### 3.6 Variabel

##### 3.6.1 Variabel Bebas

1. Tekanan steam masuk ( $\text{Kg/cm}^2$ )
2. Tekanan steam keluar ( $\text{Kg/cm}^2$ )
3. Temperatur steam masuk ( $^{\circ}\text{C}$ )
4. *Steam flow* (Ton/jam)

##### 3.6.2 Variabel Tetap

1. Efisiensi turbin uap (%)
2. Output Beban (KW)

#### 3.7 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan selama 1 bulan di PT. Mulia Tani Jaya. Data

yang di ambil berupa tekanan steam masuk ( $\text{Kg/cm}^2$ ), tekanan steam keluar ( $\text{Kg/cm}^2$ ), temperatur steam masuk ( $^{\circ}\text{C}$ ), laju aliran massa ( $\text{ton/jam}$ ) dan output beban turbin

### 3.8 Pengolahan Data

Langkah-langkah pengolahan data dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu :

1. Pengolahan terkait kajian efisiensi turbin uap  
Merupakan Pengolahan data untuk melihat keberhasilan atau sistem kerja turbin mendekati desain atau proses ideal dengan satuan persen (%).
2. *Output* Beban Turbin Uap  
Merupakan metode untuk melihat dan membandingkan data beban tertinggi pada periode dalam 1 bulan selama masa penelitian.

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa pembahasan efisiensi turbin uap

Untuk mencari efisiensi turbin uap terlebih dahulu menentukan nilai entalpi dan entropi masuk, energi keluar, fraksi uap, entalpi keluar, perubahan entalpi, kerja turbin dalam kondisi isentropis. ketika nilai tersebut sudah di tentukan langkah selanjutnya menentukan nilai efisiensi turbin uap.

#### 4.1.1 Entalpi masuk

Tabel 4.1 Data parameter 1 tanggal 06 Agustus 2024

Tanggal	T Steam Masuk (°c)	p Steam Masuk (BAR)
06 Agustus 2024	258,2	19

Terlihat jelas pada tabel 4.1 di dapatkan temperatur *steam* masuk dan temperatur *steam*. Kemudian dapat dilihat dalam tabel *steam Appendix* (SI) Jika tidak dapat dilihat dalam tabel *steam*, maka harus menggunakan rumus interpolasi

Diketahui : Temperatur saturated steam : 258,2°C

Tekanan Steam masuk : 19 BAR = 1,9 MPa

Entalpi steam uap pada 258 °C yang diambil dari tabel *Steam Appendix*. Dilakukan perhitungan dengan menggunakan aplikasi excel 2013 dengan persamaan 2.3. Entalpi pada 258,2°C berada diantara nilai-nilai berikut .

$$E = D + \left[ (F - D) \times \left( \frac{B - A}{C - A} \right) \right]$$

T	H
A = T1 °C	D = h1 kJ/kg
B = T	E = hx ?
C = T2 °C	F = h2 kJ/kg

Tabel 4.2 Entalpi 1

1,8 MPa		2 MPa		1,9 MPa	
250	2911,7	250	2903,3	1,8	2931,1
258,2	2931,1	258,2	2923,1	1,9	2927,1
300	3029,9	300	3024,2	2	2923,1

$$E = 2931,1 + \left[ (2923,1 - 2931,1) \times \left( \frac{1,9 - 1,8}{2 - 1,8} \right) \right]$$

$$E = 2927,1 \text{ kJ/kg}$$

Maka di peroleh  $E = h_1$  (entalpi uap masuk) adalah sebesar 2927,1 kJ/kg, lalu untuk menghitung  $s_1$  (entropi uap masuk) dilakukan perhitungan dengan rumus yang sama.

#### 4.1.2 Entropi masuk

Terlihat tabel 4.1 di dapatkan temperatur *steam* masuk dan temperatur *steam*. Lalu dapat dilihat dalam tabel *steam appendix* (SI) Jika tidak dapat dilihat dalam tabel *steam*, maka harus menggunakan rumus interpolasi 2.5 berikut pembahasannya :

Diketahui : Temperatur steam : 258,2°C

Tekanan steam masuk : 19 BAR = 1,9 MPa

Entropi steam uap pada 258,2 °C yang diambil dari tabel *appendix*. Dilakukan perhitungan dengan menggunakan aplikasi excel 2013 dengan persamaan 2.5. Entropi pada 258,2°C berada diantara nilai-nilai berikut .

$$E = D + \left[ (F - D) \times \left( \frac{B - A}{C - A} \right) \right]$$

T	S
A = T1 °C	D = s1 kJ/kg.K
B = T	E = sx ?
C = T2 °C	F = s2 kJ/kg.K

Tabel 4.3 Entropi

1,8 MPa		2 MPa		1,9 Mpa	
250	6,6088	250	6,5475	1,8	6,6998
271,1	6,6998	271,1	6,6406	1,863	6,6702
300	6,8246	300	6,7684	2	6,6406

$$E = 6,6998 + \left[ (6,6406 - 6,6998) \times \left( \frac{1,9 - 1,8}{2 - 1,8} \right) \right]$$

$$E = 6,6702 \text{ kJ/kg.K}$$

Setelah dilakukan perhitungan maka di dapatkan hasil entropi masuk (s1) adalah sebesar 6,6702 kJ/kg.K

#### 4.1.3 Energi keluar

Kemudian langkah selanjutnya menghitung energi keluar yaitu sf2 (entropi cair jenuh), sfg2 (entropi evaporasi), hf2 (entalpi cair jenuh) dan hfg2 (entalpi evaporasi). Pada Penelitian ini di dapatkan bahwa nilai pressure exhaust adalah 2,8 dan 3 bar, untuk nilai energi keluar pada angka 3 bar sudah tertera pada tabel steam appendix dan untuk mencari nilai 2,8 bar di lakukan interpolasi dengan rumus yang sama.

Pada Energi keluar pada tekanan 3 bar atau 300 Kpa dilakukan tanpa pengambilan interpolasi atau didapatkan nilai pada tabel secara langsung, dengan angka :

Tabel. 4.4 Data interpolasi tabel

Hf2	Hfg2	Sf2	Sfg2
561,43	2163,5	1,6717	5,3200

Langkah ini sama hal nya dengan perhitungan entalpi steam masuk yaitu berikut:

$$E = D + \left[ (F - D) \times \left( \frac{B - A}{C - A} \right) \right]$$

T	S
A = P1 KPa	D = s1 kJ/kg.K
B = T	E = sx ?
C = P2 KPa	F = s2 kJ/kg.K

Tabel 4.5 sf2 (entropi cair jenuh), sfg2 (Entropi evaporasi), hf2 (entalpi cair jenuh) dan hfg2 (entalpi evaporasi).

sf2		sfg2	
275	1,6408	275	5,3800
280	1,6470	280	5,3680
300	1,6717	300	5,3200

Didapatkan nilai sf2 adalah 1,6470 kJ/kg.K dan sfg2 adalah 5,3680 kJ/kg.K.

$$E = D + \left[ (F - D) \times \left( \frac{B - A}{C - A} \right) \right]$$

T	h
A = P1 KPa	D = h1 kJ/kg
B = T	E = hx ?
C = P2 KPa	F = h2 kJ/kg

Tabel 4.6 hf2 (entalpi cair jenuh) dan hfg2 (entalpi evaporasi).

hf2		hfg2	
275	548,86	275	2172,00
280	551,37	280	2170,30
300	561,43	300	2163,50

Didapatkan nilai hf2 adalah 551,37 kJ/kg dan hfg2 adalah 2170,30 kJ/kg.

#### 4.1.4 Fraksi Uap

Fraksi uap merupakan banyaknya cairan yang terdapat dalam uap keluar pada turbin. Nilai fraksi digunakan untuk menghitung entalpi keluar turbin. Untuk menghitung fraksi uap dengan persamaan 2.7.

$$X = \frac{(s1 - sf2)}{sf2}$$
$$X = \frac{(6,6702 - 1,6717)}{5,3200}$$
$$X = 0,940$$

Terlihat bahwa nilai fraksi uap adalah  $< 1$ . Oleh karena itu fraksi uap pada turbin uap ini adalah uap saturasi/ uap basah.

#### 4.1.5 Entalpi keluar

Selanjutnya adalah perhitungan entalpy keluar ( $h_2$ ) pada turbin uap dengan persamaan 2.3.

$$h_2 = hf2 + (X \times hfg2)$$
$$h_2 = 561,43 + (0,940 \times 2163,5)$$
$$h_2 = 2594,18 \text{ kJ/kg}$$

Didapatkan nilai entalpi keluar pada perhitungan tersebut adalah 2594,18 kJ/kg.

#### 4.1.6 Perubahan entalpi

Selanjutnya adalah perhitungan perubahan entalpi ( $\Delta h$ ) pada turbin uap dengan persamaan 2.4.

$$\Delta h = h_1 - h_2$$
$$\Delta h = 2927,1 \text{ kJ/kg} - 2594,18 \text{ kJ/kg}$$
$$\Delta h = 332,9 \text{ kJ/kg}$$

Di dapatkan perubahan entalpi yaitu sebesar 332,9 kJ/kg.

#### 4.1.7 Kerja turbin uap

Kerja turbin uap ditentukan dengan persamaan 2.111 dan diperlukan parameter berupa laju aliran massa ( $\dot{m}$ ) = 19,78 ton/jam di konversikan menjadi 5,494 kg/s dan perubahan entalpi sebagai berikut:

$$W_{isentropis} = \dot{m} \times \Delta h$$

$$W_{isentropis} = 5,494 \text{ kg/s} \times 332,9 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{isentropis} = 1829,07 \text{ kJ/kg}$$

Di dapatkan kerja turbin uap yaitu sebesar 1829,07 kJ/kg

#### 4.1.8 Efisiensi turbin uap

Efisiensi turbin uap di tentukan dari persamaan 2.111 dan diperlukan parameter berupa kerja turbin dalam kondisi aktual dengan kerja turbin dalam kondisi isentropis.

$$\eta_{turbin} = \frac{W_{aktual}}{W_{isentropis}} \times 100\%$$

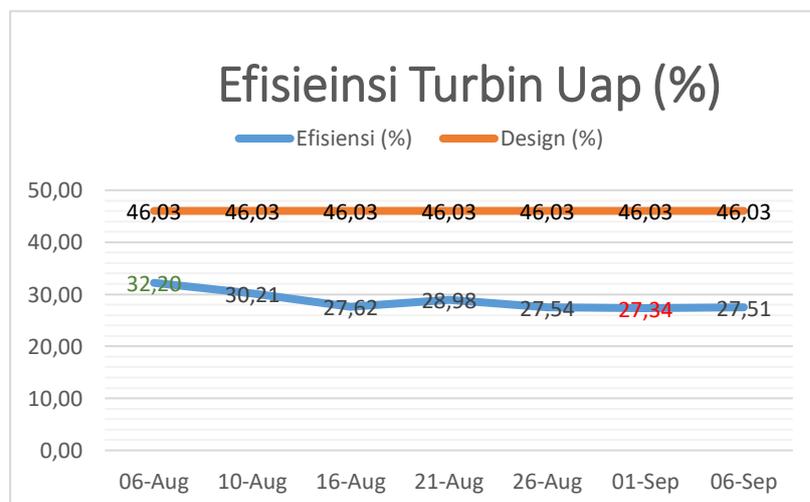
$$\eta_{turbin} = \frac{589}{1829,07} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = 32,20\%$$

Di dapatkan efisiensi turbin uap yaitu sebesar 32,20%

Untuk mencari nilai efisiensi di hari berikutnya dilakukan perhitungan dengan rumus yang sama.

Bersumber pada data yang didapatkan serta sehabis dilakukan perhitungan nilai efisiensi turbin yang sudah dilampirkan, dihasilkan nilai efisiensi turbin selama penelitian di PT. Mulia Tani Jaya penelitian terhitung tanggal 06 Agustus 2024 – 06 September 2024. Berikut hasil dan pembahasannya :



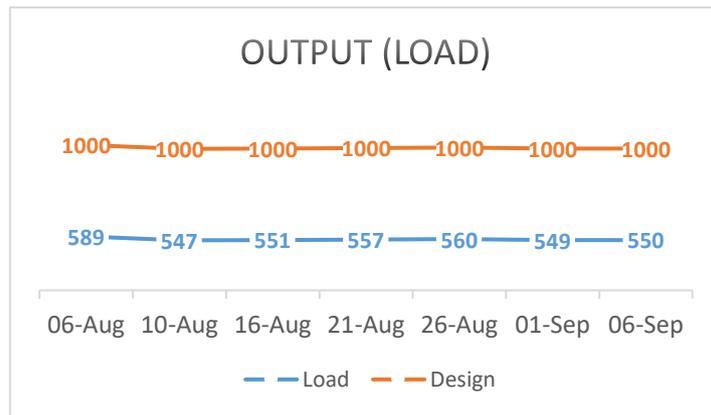
Gambar 4.1 Efisiensi turbin uap

Pada gambar di atas terlihat bahwa efisiensi design turbin uap 46,03%, sementara kondisi aktual efisiensi turbin uap tersebut mengalami penurunan. Terlihat bahwa efisiensi tertinggi yaitu pada tanggal 6 Agustus 2024 sebesar 32,20% dan terendah adalah 1 September 2024 sebesar 27,34%. Rendahnya nilai efisiensi ini dipengaruhi oleh energi input yang masuk ke dalam turbin uap. Kemudian semakin besar energi input yang masuk ke dalam turbin maka kinerja turbin uap hendak terus menjadi baik, seperti itu juga kebalikannya. Hal lain-lain yang mempengaruhi rendahnya efisiensi adalah temperatur masuk, perubahan entalpi dan kerja turbin secara aktual jika kerja turbin semakin besar maka semakin baik pula efisiensinya begitu juga kebalikannya. Kerja tertinggi pada turbin uap tersebut adalah sebesar 589 KW dengan standard spesifikasi sebesar 1000 KW. Terlihat bahwa kerja turbin uap masih cukup jauh di bandingkan dengan spesifikasi turbin tersebut.

Dapat dilihat bahwa perbandingan antara efisiensi turbin uap dengan design turbin uap tersebut lebih dari setengah nilai efisiensi design. Pengaruh hal ini disebabkan oleh temperatur masuk, perubahan entalpi dan kerja turbin secara aktual yang sangat rendah. Faktor lain karena pemakaian turbin uap yang cukup lama sehingga berkurangnya efisiensi turbin uap tersebut.

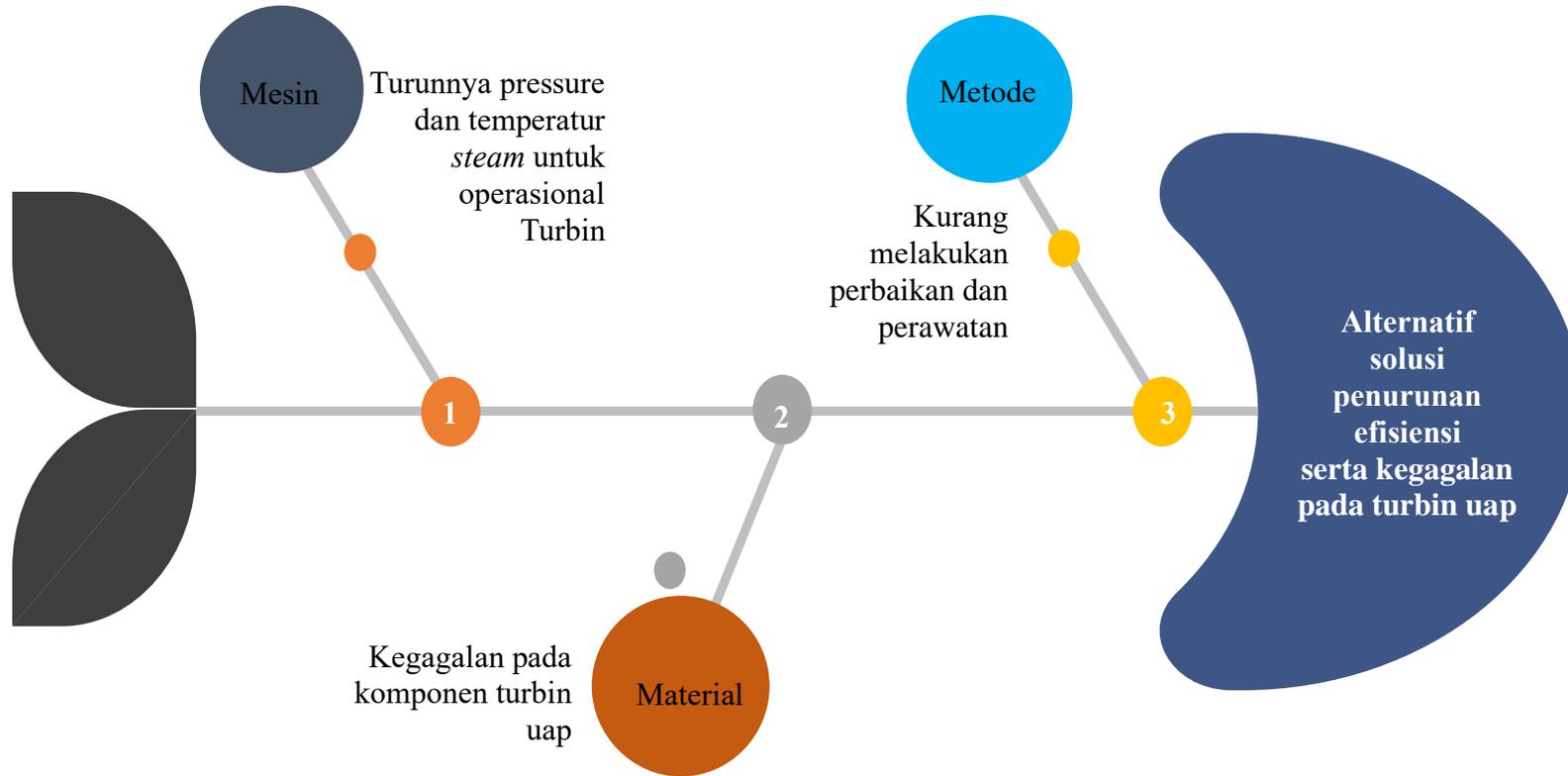
#### 4.2 Daya Output Turbin

Daya output merupakan daya yang di hasilkan turbin melalui generator. Pada pembahasan ini di dapatkan daya atau beban tertinggi dan terendah selama penelitian berlangsung di perusahaan PT. Mulia Tani Jaya



Gambar 4.2 Daya Output Turbin Uap

### 4.3 Alternatif Solusi Dengan Diagram *Fish Bone*



Gambar 4.3 Diagram *fish bone* penurunan efisiensi serta kegagalan turbin uap

Dari gambar 4.4 diatas melihatkan ada beberapa faktor yang mengakibatkan turbin uap mengalami penurunan efisiensi serta kegagalan pada komponen turbin uap. Berikut ini alternatif solusi penanggulangan dari faktor yang terjadi :

1. Mesin

Salah satu komponen yang mempengaruhi penurunan efisiensi dan kegagalan turbin uap adalah ketersediaan perlengkapan pemurnian air yang kurang optimal. Hal ini menyebabkan mutu air umpan boiler tidak sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan. Akibatnya, proses pemurnian air umpan harus dioptimalkan dengan menggunakan dearator.

2. Material

Dalam faktor ini, kualitas steam yang dihasilkan oleh boiler menuju turbin cukup basah. Ini karena steam basah memengaruhi suhu dan kinerja turbin, sehingga memengaruhi nilai entalpi yang dihasilkan. Oleh karena itu, operator harus melakukan blowdown secara teratur dan memantau posisi lever air untuk memastikan bahwa tingkat air pada gelas penduga boiler senantiasa berada pada tingkat wajar.

3. Metode

Metode pemeliharaan adalah komponen yang memengaruhi efisiensi dan kegagalan turbin uap. Oleh karena itu, pemeliharaan dan perawatan peralatan harus dilakukan secara teratur.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5.1 Kesimpulan

1. Nilai efisiensi turbin uap paling tertinggi yaitu pada tanggal 6 Agustus 2024 dengan total 32,20 % dengan kerja turbin 1829,07 kJ/kg dan nilai terendah pada tanggal 1 September 2024 sebesar 27,34% dengan kerja turbin 2008,27 kJ/kg serta untuk fraksi uap ( $X$ ) seluruhnya  $< 1$  atau disebut *saturated steam* atau steam basah. efisiensi aktual turbin uap dengan design turbin uap tersebut lebih dari setengah nilai efisiensi design.
2. Nilai efisiensi turbin uap baik tinggi dan juga rendah dipengaruhi oleh suhu yang masuk ke dalamnya. Oleh karena itu, semakin tinggi suhu atau energi yang masuk ke dalam turbin, semakin baik efisiensi turbin, begitu juga sebaliknya, perubahan entalpi dan kerja turbin secara keseluruhan. Dengan kata lain, semakin banyak kerja turbin, semakin rendah efisiensi turbin.
3. Daya output yang di hasilkan turbin melalui generator. Di dapatkan daya atau beban tertinggi pada tanggal 6 agustus 2024 sebesar 589 KW dan terendah pada tanggal 10 agustus 2024 sebesar 547 KW.

#### 5.2 Saran

1. Tekanan dan temperatur boiler harus meningkat untuk menggerakkan turbin uap agar efisiensi turbin baik dan optimal.
2. Studi analisis lebih lanjut tentang komponen yang sering mengalami kegagalan diperlukan untuk meningkatkan keandalan turbin uap.
3. Pengawas produksi dan manajemen harus memperhatikan hubungan antara pemeliharaan, peralatan kerja, rekomendasi serta tindak lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Fathan Fadhlur, M. (2016). Analisis Efisiensi Turbin Uap Sebagai Penggerak Generator Pada Pabrik Kelapa Sawit. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Vol. 01, Issue November). Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.
- Setiawan, A. (2023). Analisa Pengaruh Saturated Steam Terhadap Efisiensi dan Komponen Turbin Uap Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis. (Vol. 01, Issue Oktober). Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara
- A.J.M. (1879). Turbin. *Notes and Queries*, s5-XI(279), 343–344. <https://doi.org/10.1093/nq/s5-XI.279.343>
- Arrazi, M., Zamzami, & Maimun. (2023). Analisis Efisiensi Turbin Uap Sebagai Penggerak Generator Pabrik Minyak Kelapa Sawit PT. Syaukath Sejahtera (GANDAPURA). *Jurnal Tektro*, 7(1), 91–97.
- El-Wakil, M. M. (2015). *Instalasi Pembangkit Daya*. Erlangga.
- Fathan Fadhlur, M. (2016). Analisis Efisiensi Turbin Uap Sebagai Penggerak Generator Pada Pabrik Kelapa Sawit. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Vol. 01, Issue November). Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.
- Fatimura, M. (2015). Tinjauan Teoritis Permasalahan Boiler Feed Water pada Pengoperasian Boiler yang Dipergunakan dalam Industri. *Jurnal Media Teknik*, 12(1), 24–32.
- Jaya, N. (2020). *ANALISIS KINERJA TURBIN UAP BERDASARKAN PERFORMANCE TEST PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) BARRU 2X50 MW*. PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI JURUSAN TEKNIK MESIN POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG MAKASSAR 2020.
- Lubis, S., Siregar, I., & Siregar, A. M. (2020). Karakteristik Unjuk Kerja 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri Sebagai Turbin Pat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 3(2), 85–92. <https://doi.org/10.30596/rmme.v3i2.5270>
- Merle C Potter, P. D., & Craig W. Somerton, P. D. (2011). *TERMODINAMIKA TEKNIK*.

- Nasrullah, Nofriadi, Nasirwan, Leni, D., & Septi, K. D. (2023). Analisis Kinerja Turbin Hidrokinetik Dengan Selubung Diffuser Pada Kondisi Yaw Misalignment Berdasarkan Variasi Kecepatan Aliran Air. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 6(2), 203–210. <https://doi.org/10.30596/rmme.v6i2.16190>
- POLSRI. (2019). BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1. 1–64. In *Gastronomía ecuatoriana y turismo local*. (Vol. 1, Issue 69). POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA.
- Prasojo, F. F. (2022). *TUGAS SARJANA ANALISA PENGARUH TURBIN HEAT RATE TERHADAP EFISIENSI TURBIN di PKS KAPASITAS 40 TON/JAM*.
- Purba, Y. M. (2020). *Analisa Perbandingan Efisiensi Boiler Dengan Metode Heat-Losses Pada Saat Awal Operasi Dan Setelah Overhaul Di PT. Pomi Paiton*.
- Sapto, Y. (2003). *Turbin Uap Untuk Penggerak Generator Listrik Pada Pabrik Kelapa Sawit Dengan Kapasitas Produksi 30 Ton Tbs/Jam*.
- Setiawan, A. (2023). Tugas Akhir. In *Repostory Umsu* (Vol. 2, Issue 1). Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Siagian, I. W. J. A. Y. A. (2021). *Laporan kerja praktek optimalisasi turbin uap di pt. p abrik kelapa sa wit tunggal mitra plantation*.
- Sinaga, H. P. I., Utomo, C. T., & Tarigan, E. (2022). Analisis Performansi Turbin Uap Kapasitas 1,95 Mw Di Pt Perkebunan Lembah Bhakti Astra Agro Lestari Tbk. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(1), 23–33. <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v3i1.703>
- Smith, J. M., Ness, H. C. Van, Abbott, M. M., & Swihart, M. T. (2022). *Chemical Engineering Thermodynamics*. McGraw Hill LLC, 1325 Avenue of the Americas, New York, NY 10121.
- Tarigan, M. R., & Supriyanto, G. (2023). Analisis Kualitas Air dan Pemakaian Air pada Water Tube Boiler di Pabrik Kelapa Sawit. ... , *and Technology: Jurnal ...*, 1, 663–671.
- Wahyu Endriyana, V. (2013). Analisa Untuk Kerja Secondary Supeheater PLTGU Dan Evaluasi Peluang Peningkatan Effectiveness Dengan Cara Variasi Jarak, Jumlah, dan Diameter Tube. *Jurnal Teknik ITS*, 2(3), B388–B393.
- Wahyudi, B. (2019). *Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar*

*Sebagai Sarjana Teknik Universitas Medan Area Oleh : UNIVERSITAS  
MEDAN AREA Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar  
Sebagai Sarjana Teknik Universitas Medan Area.*

TABLE A-6

Superheated water (Continued)

<i>T</i> °C	<i>v</i> m <sup>3</sup> /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m <sup>3</sup> /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m <sup>3</sup> /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K
<i>P</i> = 1.00 MPa (179.88°C)				<i>P</i> = 1.20 MPa (187.96°C)				<i>P</i> = 1.40 MPa (195.04°C)				
Sat.	0.19437	2582.8	2777.1	6.5850	0.16326	2587.8	2783.8	6.5217	0.14078	2591.8	2788.9	6.4675
200	0.20602	2622.3	2828.3	6.6956	0.16934	2612.9	2816.1	6.5909	0.14303	2602.7	2803.0	6.4975
250	0.23275	2710.4	2943.1	6.9265	0.19241	2704.7	2935.6	6.8313	0.16356	2698.9	2927.9	6.7488
300	0.25799	2793.7	3051.6	7.1246	0.21386	2789.7	3046.3	7.0335	0.18233	2785.7	3040.9	6.9553
350	0.28250	2875.7	3158.2	7.3029	0.23455	2872.7	3154.2	7.2139	0.20029	2869.7	3150.1	7.1379
400	0.30661	2957.9	3264.5	7.4670	0.25482	2955.5	3261.3	7.3793	0.21782	2953.1	3258.1	7.3046
500	0.35411	3125.0	3479.1	7.7642	0.29464	3123.4	3477.0	7.6779	0.25216	3121.8	3474.8	7.6047
600	0.40111	3297.5	3698.6	8.0311	0.33395	3296.3	3697.0	7.9456	0.28597	3295.1	3695.5	7.8730
700	0.44783	3476.3	3924.1	8.2755	0.37297	3475.3	3922.9	8.1904	0.31951	3474.4	3921.7	8.1183
800	0.49438	3661.7	4156.1	8.5024	0.41184	3661.0	4155.2	8.4176	0.35288	3660.3	4154.3	8.3458
900	0.54083	3853.9	4394.8	8.7150	0.45059	3853.3	4394.0	8.6303	0.38614	3852.7	4393.3	8.5587
1000	0.58721	4052.7	4640.0	8.9155	0.48928	4052.2	4639.4	8.8310	0.41933	4051.7	4638.8	8.7595
1100	0.63354	4257.9	4891.4	9.1057	0.52792	4257.5	4891.0	9.0212	0.45247	4257.0	4890.5	8.9497
1200	0.67983	4469.0	5148.9	9.2866	0.56652	4468.7	5148.5	9.2022	0.48558	4468.3	5148.1	9.1308
1300	0.72610	4685.8	5411.9	9.4593	0.60509	4685.5	5411.6	9.3750	0.51866	4685.1	5411.3	9.3036
<i>P</i> = 1.60 MPa (201.37°C)				<i>P</i> = 1.80 MPa (207.11°C)				<i>P</i> = 2.00 MPa (212.38°C)				
Sat.	0.12374	2594.8	2792.8	6.4200	0.11037	2597.3	2795.9	6.3775	0.09959	2599.1	2798.3	6.3390
225	0.13293	2645.1	2857.8	6.5537	0.11678	2637.0	2847.2	6.4825	0.10381	2628.5	2836.1	6.4160
250	0.14190	2692.9	2919.9	6.6753	0.12502	2686.7	2911.7	6.6088	0.11150	2680.3	2903.3	6.5475
300	0.15866	2781.6	3035.4	6.8864	0.14025	2777.4	3029.9	6.8246	0.12551	2773.2	3024.2	6.7684
350	0.17459	2866.6	3146.0	7.0713	0.15460	2863.6	3141.9	7.0120	0.13860	2860.5	3137.7	6.9583
400	0.19007	2950.8	3254.9	7.2394	0.16849	2948.3	3251.6	7.1814	0.15122	2945.9	3248.4	7.1292
500	0.22029	3120.1	3472.6	7.5410	0.19551	3118.5	3470.4	7.4845	0.17568	3116.9	3468.3	7.4337
600	0.24999	3293.9	3693.9	7.8101	0.22200	3292.7	3692.3	7.7543	0.19962	3291.5	3690.7	7.7043
700	0.27941	3473.5	3920.5	8.0558	0.24822	3472.6	3919.4	8.0005	0.22326	3471.7	3918.2	7.9509
800	0.30865	3659.5	4153.4	8.2834	0.27426	3658.8	4152.4	8.2284	0.24674	3658.0	4151.5	8.1791
900	0.33780	3852.1	4392.6	8.4965	0.30020	3851.5	4391.9	8.4417	0.27012	3850.9	4391.1	8.3925
1000	0.36687	4051.2	4638.2	8.6974	0.32606	4050.7	4637.6	8.6427	0.29342	4050.2	4637.1	8.5936
1100	0.39589	4256.6	4890.0	8.8878	0.35188	4256.2	4889.6	8.8331	0.31667	4255.7	4889.1	8.7842
1200	0.42488	4467.9	5147.7	9.0689	0.37766	4467.6	5147.3	9.0143	0.33989	4467.2	5147.0	8.9654
1300	0.45383	4684.8	5410.9	9.2418	0.40341	4684.5	5410.6	9.1872	0.36308	4684.2	5410.3	9.1384
<i>P</i> = 2.50 MPa (223.95°C)				<i>P</i> = 3.00 MPa (233.85°C)				<i>P</i> = 3.50 MPa (242.56°C)				
Sat.	0.07995	2602.1	2801.9	6.2558	0.06667	2603.2	2803.2	6.1856	0.05706	2603.0	2802.7	6.1244
225	0.08026	2604.8	2805.5	6.2629								
250	0.08705	2663.3	2880.9	6.4107	0.07063	2644.7	2856.5	6.2893	0.05876	2624.0	2829.7	6.1764
300	0.09894	2762.2	3009.6	6.6459	0.08118	2750.8	2994.3	6.5412	0.06845	2738.8	2978.4	6.4484
350	0.10979	2852.5	3127.0	6.8424	0.09056	2844.4	3116.1	6.7450	0.07680	2836.0	3104.9	6.6601
400	0.12012	2939.8	3240.1	7.0170	0.09938	2933.6	3231.7	6.9235	0.08456	2927.2	3223.2	6.8428
450	0.13015	3026.2	3351.6	7.1768	0.10789	3021.2	3344.9	7.0856	0.09198	3016.1	3338.1	7.0074
500	0.13999	3112.8	3462.8	7.3254	0.11620	3108.6	3457.2	7.2359	0.09919	3104.5	3451.7	7.1593
600	0.15931	3288.5	3686.8	7.5979	0.13245	3285.5	3682.8	7.5103	0.11325	3282.5	3678.9	7.4357
700	0.17835	3469.3	3915.2	7.8455	0.14841	3467.0	3912.2	7.7590	0.12702	3464.7	3909.3	7.6855
800	0.19722	3656.2	4149.2	8.0744	0.16420	3654.3	4146.9	7.9885	0.14061	3652.5	4144.6	7.9156
900	0.21597	3849.4	4389.3	8.2882	0.17988	3847.9	4387.5	8.2028	0.15410	3846.4	4385.7	8.1304
1000	0.23466	4049.0	4635.6	8.4897	0.19549	4047.7	4634.2	8.4045	0.16751	4046.4	4632.7	8.3324
1100	0.25330	4254.7	4887.9	8.6804	0.21105	4253.6	4886.7	8.5955	0.18087	4252.5	4885.6	8.5236
1200	0.27190	4466.3	5146.0	8.8618	0.22658	4465.3	5145.1	8.7771	0.19420	4464.4	5144.1	8.7053
1300	0.29048	4683.4	5409.5	9.0349	0.24207	4682.6	5408.8	8.9502	0.20750	4681.8	5408.0	8.8786

TABLE A-5

Saturated water—Pressure table

Press., <i>P</i> kPa	Sat. temp., <i>T</i> <sub>sat</sub> °C	Specific volume, m <sup>3</sup> /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, <i>v</i> <sub>f</sub>	Sat. vapor, <i>v</i> <sub>g</sub>	Sat. liquid, <i>u</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>u</i> <sub>fg</sub>	Sat. vapor, <i>u</i> <sub>g</sub>	Sat. liquid, <i>h</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>h</i> <sub>fg</sub>	Sat. vapor, <i>h</i> <sub>g</sub>	Sat. liquid, <i>s</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>s</i> <sub>fg</sub>	Sat. vapor, <i>s</i> <sub>g</sub>
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin Uap PT Mulia Tani Jaya Penelitian Tugas Akhir Pada Tanggal 6 Agustus 2024 – 06 September 2024

Tanggal	T (°C)	P1 (MPa)	P2 (KPa)	h1 (kJ/kg)	s1 (kJ/kg.K)	sf2 (kJ/kg.K)	sfg2 (kJ/kg)	x	hf2 (kJ/kg)	hfg2 (kJ/kg)	h2 (kJ/kg)	$\Delta h$ (kJ/kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	Wt isentropik (kJ/kg)	Waktual (KW)	Efisiensi (%)
06-Agu	258,2	1,9	300	2927.1	6.6702	1.6717	5.3200	0.940	561.43	2163.5	2594.18	332.9	5.494	1829.07	589	32,20
10-Agu	260,4	1,9	280	2932.4	6.6439	1.6470	5.3680	0.931	551.37	2170.3	2571.63	360.7	5.019	1810.52	547	30,21
16-Agu	258,8	1,9	280	2928.5	6.6747	1.6470	5.3680	0.937	551.37	2170.3	2584.09	344.5	5.792	1995.08	551	27,62
21-Agu	261,2	1,9	300	2934.3	6.6943	1.6717	5.3200	0.944	561.43	2163.5	2603.99	330.3	5.819	1921.98	557	28,98
26-Agu	261,1	1,9	280	2929.7	6.6327	1.6470	5.3680	0.929	551.37	2170.3	2567.1	362.6	5.608	2033.64	560	27,54
01-Sep	257,7	1,9	300	2937.1	6.6559	1.6717	5.3200	0.937	561.43	2163.5	2588.37	348.8	5.758	2008.27	549	27,34
06-Sep	265,5	1,9	280	2933.3	6.6646	1.6470	5.3680	0.935	551.37	2170.3	2580.00	353.3	5.658	1999.09	550	27,51
Design	260,0	1,720	394	2923.3	6.5247	1.7059	5.2542	0,917	602,28	2153.9	2550,81	372,5	5.833	2172,72	1000	46,03

**DATA TURBIN UAP DI PT. MULIA TANI JAYA PADA TANGGAL 06 AGUSTUS 2024 - 06 SEPTEMBER 2024**

Tanggal	T1 (°C)	P1 (BAR)	P2 (BAR)	Mass flow/steam flow	Load (KW)
06 Agustus 2024	258.2	19	3.0	19,78	589
10 Agustus 2024	260.4	19	2.8	18,07	547
16 Agustus 2024	258.8	19	2.8	20,85	551
21 Agustus 2024	261.2	19	3.0	20,95	557
26 Agustus 2024	259.3	19	2.8	20,19	560
01 September 2024	262.4	19	3.0	20,73	549
06 September 2024	260.8	19	2.8	20,37	550

**Keterangan :**

**T°C = Temperature**

**P1 (BAR) = Tekanan**

**Mass Flow = Laju Aliran Massa**

**Beban / Load = kw**

  
  
**C. AGUSTIN**



MULIA TANI JAYA

# PT. MULIA TANI JAYA

Link. I Bukit Tua Kel. Tanjung Selamat Kec. Padang Tualang, Langkat  
Sumut - Indonesia  
Phone. 085373275367  
E-mail : ptmuliatanijaya@yahoo.com

Nomor : 002/MTJ/IX/2024  
Hal : Konfirmasi Permohonan Izin Penelitian

Kepada Yth  
Bapak Dekan Munawar Alfansury Siregar, ST., MT.  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Fakultas Teknik

Dengan Hormat,

Berdasarkan Surat Nomor 1105/II.3AU/UMSU-07/B/2024 Tanggal 06 Agustus 2024 Perihal,  
Permohonan Izin Penelitian Kepada Mahasiswa :

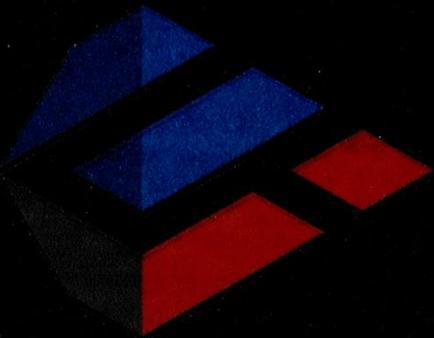
I. Nama : M. Fadhil Pratama  
Npm : 2007230040  
Jurusan : Teknik Mesin

Berdasarkan dengan surat ini kami sampaikan bahwa mahasiswa tersebut diatas dapat kami terima untuk melaksanakan izin penelitian di perusahaan kami terhitung mulai 06 Agustus 2024

Demikianlah surat ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerja samanya kami ucapkan terima kasih.

Bukit Tua, 28 September 2024

  
SUWANDI  
MANAGER



# CERTIFICATE OF APPRECIATION

THIS CERTIFICATE OF ACHIEVEMENT IS PRESENTED TO

**M. FADHIL PRATAMA**

Dengan ini menyatakan bahwa benar telah mengikuti magang di PT. Adibrata Unggul Jaya mulai 24 Desember 2022 – 24 Desember 2023 dengan:

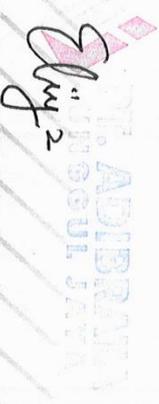
**“SANGAT BAIK”**

**01 Januari 2024**

DATE

**Ektaria Sinuhaji**  
HRD & System

SIGNATURE



## LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

### ANALISA EFISIENSI TURBIN UAP PADA PABRIK KELAPA SAWIT SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK

Nama : M.FADHIL PRATAMA

NPM : 2007230040

Dosen Pembimbing 1 : Chandra A Siregar, S.T., M.T

o	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	20/2/2024	Perbaiki format	f
2.	15/3/2024	Perbaiki bab I, II, III	f
3.	18/5/2024	Perbaiki bab I, II dan III	f
4.	27/5/2024	Ace sumpro	f
5.	29/8/2024	Perbaiki format	f
6.	4/9/2024	Perbaiki Bab II tambah referensi	f
7.	8/10-2024	Ace Simbas	f



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Siapa yang kami sukai, siapa yang kami dudukkan, siapa yang kami tanggapi.

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**FAKULTAS TEKNIK**

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 1913/SK/BAK-PT/AK.KP/PT/KU/2022  
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20239 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003  
<https://fatek.umsu.ac.id> [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id) [umsu](#) [umsu](#) [umsu](#) [umsu](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

**Nomor: 1234/3AU/UMSU-07/F/2023**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Tanggal 06 Desember 2023 dengan ini Menetapkan :

NAMA : M.FADHIL PRATAMA  
NPM : 2007230040  
Program Studi : TEKNIK Mesin  
Semester : 7 ( TUJUH )  
Judul Tugas Akhir : ANALISA EFISIENSI TURBIN UAP PADA PABRIK KELAPA SAWIT SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK.

Dosen Pembimbing : CHANDRA A SIREGAR ST.MT.

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Elektro
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal,  
Medan, 23 Jum Awal 1445 H  
Desember 2023 M



Munawar Alfansury Siregar, ST..MT  
NIDN: 0101017202



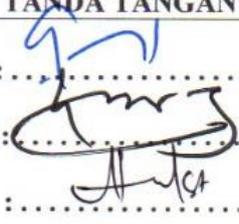
**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2024 – 2025**

Peserta seminar

Nama : M. Fadhil Pratama

NPM : 2007230040

Judul Tugas Akhir : Analisa Efisiensi Turbin Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Pembangkit Listrik

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
<b>Pembimbing – I : Chandra A Siregar ST.MT</b>	..... 
<b>Pemanding – I : Munawar A Siregar ST.MT</b>	.....
<b>Pemanding – II : Arya Rudi Nst ST.MT</b>	.....

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2007230066	Muhammad Fakhri Pardesi	
2	2007230010	Muhammad farhan ms	
3	2007230040	M. FADHIL PRATAMA	
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 08 Rabi'ul Akhir 1446 H  
12 Oktober 2024 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

Nama : M. Fadhil Pratama  
NPM : 2007230040  
Judul Tugas Akhir : Analisa Efisiensi Turbin Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Pembangkit Listrik

Dosen Pembanding – I : Munawar A Siregar ST.MT  
Dosen Pembanding – II : Arya Rudi Nst ST.MT  
Dosen Pembimbing – I : Chandra A Siregar ST.MT

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....*Perbaikan' Sinar' Record (Rehama)*.....  
.....  
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

.....  
.....  
.....  
.....

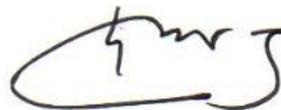
Medan, 08 Rabi'ul Akhir 1446 H  
12 Oktober 2024 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- I



Chandra A Siregar, ST, MT



Munawar A Siregar ST.MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

Nama : M. Fadhil Pratama  
NPM : 2007230040  
Judul Tugas Akhir : Analisa Efisiensi Turbin Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Pembangkit Listrik

Dosen Pembanding – I : Munawar A Siregar ST.MT  
Dosen Pembanding – II : Arya Rudi Nst ST.MT  
Dosen Pembimbing – I : Chandra A Siregar ST.MT

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....  
.....*perbaikkan segala revisi*.....  
.....  
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

.....  
.....  
.....  
.....

Medan 08 Rabi'ul Akhir 1446 H  
12 Oktober 2024 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- II



Chandra A Siregar, ST, MT



Arya Rudi Nst ST.MT

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA PRIBADI

Nama : M. Fadhil Pratama  
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 08 Mei 2002  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Agama : Islam  
Alamat : Jl. Sei Batu Gingging Psr. X No. 55 Padang Bulan  
Selayang I, Medan Selayang  
Nomor Telepon : 081361452710  
E-mail : [Fadhilpratama308@gmail.com](mailto:Fadhilpratama308@gmail.com)

### PENDIDIKAN FORMAL

Tahun 2008-2014 : SD Nurul Huda  
Tahun 2014-2017 : SMP Darussalam Medan  
Tahun 2017-2020 : SMK Panca Budi Medan  
Tahun 2020-2024 : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara