

**TUGAS SARJANA**  
**ANALISA PENGARUH TURBIN *HEAT RATE* TERHADAP**  
**EFISIENSI TURBIN di PKS KAPASITAS 40 TON/JAM**

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

Disusun Oleh :

**FRANS FADILLAH PRASOJO**  
**1807230086**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**MEDAN**  
**2022**

## HALAMAN PENGESAHAN

Proposal penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Frans Fadillah Prasojo  
NPM : 1807230086  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir : Analisa Pengaruh Turbin *Heat Rate* Terhadap Efisiensi Turbin di PKS Kapasitas 40 Ton/Jam  
Bidang Ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 26 September 2022

Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Penguji I



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

Dosen Penguji II



(Sudirman Lubis, S.T, M.T)

Dosen Penguji III



(Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T)

Program Studi Teknik Mesin  
Ketua



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

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Frans Fadillah Prasajo  
Tempat/Tanggal Lahir : Tonduhan/28 Oktober 1999  
NPM : 1807230086  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

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

**“Analisa Pengaruh Turbin *Heat Rate* Terhadap Efisiensi Turbin di PKS Kapasitas 40 Ton/Jam”**,

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 orisinil dan otentik.

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

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

Medan, 26 September 2022

yang menyatakan,  


Frans Fadillah Prasajo

## ABSTRAK

Pada saat ini penggunaan uap air sangat luas dalam kehidupan sehari-hari baik dalam rumah tangga maupun dalam industri. Dalam industri misalnya pada industri pengolahan kelapa sawit, kebutuhan energi listrik sangat tinggi. Salah satu contoh mesin konversi energi listrik adalah turbin uap. Seiring berjalannya waktu, pada kondisi aktual, performa ataupun efisiensi dari turbin uap sebagai pembangkit listrik tenaga uap yang digunakan di Pabrik Kelapa Sawit akan berubah dan tidak optimal. Sebuah pembangkit listrik (Turbin Uap) dapat diukur kemampuan efisiensinya berdasarkan nilai yang disebut Turbin *Heat rate* dengan satuan Kcal/kWh. Tujuan penelitian adalah untuk menghitung nilai Turbin *Heat rate* pada bulan Oktober, Nopember dan Desember 2021 pada turbin uap PKS, untuk menghitung nilai efisiensi pada turbin uap PKS, untuk menganalisa adakah pengaruh Turbin *Heat rate* terhadap efisiensi yang dihasilkan di turbin uap PKS. Maka diperoleh nilai Turbin *heat rate* pada bulan Oktober 2021 adalah 1036.380 Kcal/kWh, pada bulan Nopember 2018 adalah 1317.502 Kcal/kWh dan pada bulan Desember 2021 adalah 1204.171 Kcal/kWh. Dengan begitu maka nilai turbin *heat rate* terendah terjadi pada bulan Oktober 2021 dengan nilai 1036.380 Kcal/kWh. Sedangkan nilai turbin *heat rate* tertinggi terdapat pada bulan Nopember 2021 dengan nilai 1317.502 Kcal/kWh. Nilai efisiensi turbin pada bulan Oktober 2021 adalah 82.98%, pada bulan Nopember 2021 adalah 65.27% dan pada bulan Desember 2021 adalah 71.41%. Dalam hal ini tinggi rendahnya nilai efisiensi turbin dipengaruhi oleh nilai Turbin *heat rate*. Turbin *heat rate* berbanding terbalik dengan efisiensi turbin, yang artinya semakin rendah nilai Turbin *heat rate* maka nilai efisiensi turbin akan semakin baik. Dimana nilai Turbin *heat rate* terendah adalah 1036.380 Kcal/kWh dengan efisiensi turbin 82.98% dan nilai turbin *heat rate* tertinggi adalah 1317.502 Kcal/kWh dengan efisiensi 65.27%.

Kata kunci : Konversi Energi, Turbin Heat Rate, Efisiensi Turbin

## ABSTRACT

At this time the use of water vapor is very wide in everyday life both in households and in industry. In industry, for example in the palm oil processing industry, the need for electrical energy is very high. One example of an electrical energy conversion machine is a steam turbine. Over time, in actual conditions, the performance or efficiency of the steam turbine as a steam power plant used in the Palm Oil Mill will change and is not optimal. A power plant (Steam Turbine) can measure its efficiency based on a value called Turbine Heat rate with units of Kcal/kWh. The purpose of this study is to calculate the value of the Turbine Heat rate in October, November and December 2021 on the PKS steam turbine, to calculate the efficiency value in the PKS steam turbine, to analyze whether there is an effect of the Turbine Heat rate on the efficiency produced in the PKS steam turbine. Then the Turbine heat rate value in October 2021 is 1036,380 Kcal/kWh, in November 2018 it is 1317,502 Kcal/kWh and in December 2021 it is 1204,171 Kcal/kWh. Thus, the lowest turbine heat rate will occur in October 2021 with a value of 1036,380 Kcal/kWh. Meanwhile, the highest turbine heat rate value occurred in November 2021 with a value of 1317,502 Kcal/kWh. The turbine efficiency value in October 2021 is 82.98%, in November 2021 it is 65.27% and in December 2021 it is 71.41%. In this case the high and low value of turbine efficiency is influenced by the value of the turbine heat rate. Turbine heat rate is inversely proportional to turbine efficiency, which means that the lower the turbine heat rate, the better the turbine efficiency. Where the lowest turbine heat rate value is 1036.380 Kcal/kWh with a turbine efficiency of 82.98% and the highest turbine heat rate value is 1317.502 Kcal/kWh with an efficiency of 65.27%.

*Keywords: Energy Conversion, Turbine Heat Rate, Turbine Efficiency*

## 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 Pengaruh Turbin *Heat Rate* Terhadap Efisiensi Turbin di PKS Kapasitas 40 Ton/Jam” 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 Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing serta Dekan Fakultas Teknik UMSU, yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Bapak Chandra A. Siregar, S.T., M.T dan Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T sebagai Ketua dan Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
5. Orang tua penulis: Edy Waluyo dan Sri Minarni, yang telah membesarkan dan membiayai studi penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Sahabat-sahabat penulis : Ejakkk, Hari, Yudha, Juned, Mora, Tri, Faisal dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Proposal 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 pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 26 September 2022



Frans Fadillah Prasajo

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN 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>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Proses Pabrik Kelapa Sawit	4
2.2 Pembangkit Tenaga Pabrik Kelapa Sawit	7
2.2.1 <i>Boiler</i>	8
2.2.2 Turbin Uap	10
2.3 Proses Pembentukan Uap	14
2.3.1 Uap Basah	15
2.3.2 Uap Jenuh	15
2.3.3 Analisa Kerugian Nilai Entalpi di Turbin	16
2.4 Termodinamika	17
2.4.1 Hukum Termodinamika Pertama	17
2.4.2 Hukum Termodinamika Kedua	19
2.5 <i>Heat Rate</i>	20
2.6 Turbin <i>Heat Rate</i>	22
2.7 Efisiensi Turbin	22
<b>BAB 3 METODOLOGI</b>	
3.1 Tempat dan Waktu	23
3.1.1 Tempat Penelitian	23
3.1.2 Waktu Penelitian	23
3.2 Bahan dan Alat	23
3.2.1 Bahan	23
3.2.2 Alat	24
3.3 Bagan Alir Penelitian	25
3.4 Rancangan Alat Penelitian	27
3.5 Prosedur Penelitian	27
3.6 Variabel	27
3.6.1 Variabel Bebas	27



3.6.2 Variabel Tetap	28
3.7 Pengumpulan Data	28
3.8 Pengolahan Data	28
<b>BAB 4 HASIL dan PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisa dan Pembahasan Turbin <i>Heat Rate</i>	29
4.1.1 Entalpi Total Harian	29
4.1.2 Entalpi Total Bulanan	34
4.2 Analisa dan Pembahasan Daya <i>Output</i> Turbin	36
4.2.1 Daya <i>Output</i> Turbin Harian	36
4.2.2 Daya <i>Output</i> Turbin Bulanan	38
4.3 Turbin <i>Heat Rate</i> (THR)	39
4.3.1 Turbin <i>Heat Rate</i> Harian	39
4.3.2 Turbin <i>Heat Rate</i> Bulanan	42
4.4 Analisa dan Pembahasan Efisiensi Turbin	43
4.4.1 Efisiensi Turbin Bulanan	47
4.5 Analisa Pembahasan Korelasi	49
4.5.1 Analisa Pengaruh Turbin <i>Heat Rate</i> Terhadap Efisiensi Turbin	49
4.6 Alternatif Solusi Menurunnya Efisiensi Turbin	51
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	55
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

- Tabel 3.1 Jadwal penelitian  
Tabel 4.1 Data *steam* tanggal 01 Oktober 2021  
Tabel 4.2 Data turbin *heat rate* tanggal 01 Oktober 2021  
Tabel 4.3 Data efisiensi turbin tanggal 01 Oktober 2021

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram alir pengolahan TBS pabrik kelapa sawit
Gambar 2.2	<i>Boiler</i>
Gambar 2.3	Turbin uap
Gambar 2.4	Diagram T-S Proses pembentukan uap
Gambar 3.1	Turbin
Gambar 3.2	<i>Boiler</i>
Gambar 3.3	<i>Pressure Gauge</i>
Gambar 3.4	<i>Control Panel</i>
Gambar 3.5	Bagan Alir Penelitian
Gambar 3.6	Aliran Steam dalam Turbin
Gambar 4.1	Grafik entalpi total harian bulan Oktober 2021-Desember 2021
Gambar 4.2	Grafik entalpi total bulan Oktober 2021-Desember 2021
Gambar 4.3	Grafik daya <i>output</i> harian turbin bulan Oktober 2021-Desember 2021
Gambar 4.4	Grafik daya <i>output</i> turbin bulan Oktober 2021-Desember 2021
Gambar 4.5	Grafik turbin <i>heat rate</i> harian bulan Oktober 2021-Desember 2021
Gambar 4.6	Grafik turbin <i>heat rate</i> bulan Oktober 2021-Desember 2021
Gambar 4.7	Grafik efisiensi turbin harian bulan Oktober 2021-Desember 2021
Gambar 4.8	Grafik efisiensi turbin bulan Oktober 2021-Desember 2021
Gambar 4.9	Grafik Korelasi antara turbin <i>heat rate</i> terhadap efisiensi turbin
Gambar 4.10	Diagram <i>fishbone</i> penyebab penurunan efisiensi turbin uap

## DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
p1	Tekanan awal	Bar
p2	Tekanan akhir	Bar
V1	Volume awal	m <sup>3</sup>
V2	Volume akhir	m <sup>3</sup>
T1	Temperatur awal	°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	kg/cm <sup>2</sup>
hi	Entalpi sistem	kJ/kg
THR	Turbin <i>heat rate</i>	kJ/kWh
m1	Laju aliran massa fluida	kg. uap/jam
H1	Entalpi uap masuk	kJ/kg
H2	Entalpi uap keluar	kJ/kg
Gross Output	Daya output generator turbin	kWh
% Turbin	Efisiensi Turbin	%
860	Energi kalor dalam 1 kWh	Kcal

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Pada saat ini penggunaan uap air sangat luas dalam kehidupan sehari-hari baik dalam rumah tangga maupun dalam industri. Salah satu alat yang mampu menghasilkan uap air adalah ketel uap atau *boiler*. Naibaho (2020) menegaskan, “*Boiler* merupakan instalasi penghasil uap yang dipakai untuk menggerakkan turbin uap sebagai pembangkit tenaga di pabrik kelapa sawit. *Boiler* bekerja mengkonversi panas yang dihasilkan bahan bakar kedalam bentuk uap yang mengandung entalpi, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap.

Ketel uap untuk keperluan industri dirancang sesuai dengan kebutuhan dan kegunaan dari uap yang dihasilkan. Dalam industri misalnya pada industri pengolahan kelapa sawit, kebutuhan energi listrik sangat tinggi. Pabrik kelapa sawit membutuhkan banyak energi untuk mengolah tandan buah segar (TBS) menjadi minyak sawit mentah (CPO) dan inti sawit (kernel). Sunarwo dan Supriyo (2015) menegaskan, “Tenaga yang dibutuhkan untuk mengolah kelapa sawit begitu besar sehingga tidak semua tenaga bisa diperoleh dari perusahaan listrik milik negara”.

Pembangkit energi listrik menggunakan mesin-mesin konversi energi. Salah satu contoh mesin konversi energi listrik adalah turbin uap. Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Shlyakhim (1990) menegaskan “Dengan mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik pada *nozzle* (turbin impuls) dan sudu-sudu gerak (turbin reaksi) dihubungkan pada poros dengan bantuan roda gigi reduksi dalam mekanisme yang bergerak, sehingga menghasilkan daya listrik”.

Seiring berjalannya waktu, pada kondisi aktual, performa ataupun efisiensi dari turbin uap sebagai pembangkit listrik tenaga uap yang digunakan di Pabrik Kelapa Sawit akan berubah dan tidak optimal, Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor dimulai dari faktor umur (*lifetime*), perawatan (*maintenance*), bahan baku uap (*steam*) dan kebutuhan listrik setiap harinya, maupun bahan bakar dari *boiler* itu sendiri (*fiber* dan *shell*) ataupun konsumsi panas suatu pembangkit listrik (dalam hal ini kita berbicara mengenai turbin). Bicara mengenai efisiensi turbin yang

dipengaruhi konsumsi panas suatu pembangkit tenaga listrik, maka kita akan berbicara mengenai *Heat rate*.

*Heat rate* dapat di artikan sebagai jumlah dari energi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah energi listrik dalam waktu satu jam. Sedangkan Turbin *Heat rate* yaitu jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh. Turbin *Heat rate* mengindikasikan perbandingan dari energi total yang dipakai untuk memutar turbin dengan energi listrik yang dihasilkan oleh generator dan dinyatakan dalam Kcal/kWh.

Turbin *Heat rate* merupakan kebalikan dari efisiensi suatu pembangkit tenaga, dengan kata lain apabila nilai Turbin *Heat rate* sebuah pembangkit tenaga tinggi, maka efisiensi pembangkit tenaga tersebut akan rendah dan begitu sebaliknya. Semakin rendah penggunaan panas untuk menghasilkan energi listrik maka tingkat efisiensi pembangkit tersebut tinggi karena hanya menggunakan sedikit bahan bakar dan dapat menekan biaya produksi (*cost*). Jamaludin dan Kurniawan (2015) menegaskan, “Mengukur efisiensi pembangkit listrik menggunakan metode *Heat rate* merupakan proses pengoptimalan dari panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran bahan bakar menjadi listrik”.

Berlandaskan pada latar belakang tersebut, peneliti terdorong untuk melaksanakan penelitian mengenai Turbin *Heat rate* dan mengangkat judul “Analisa Pengaruh Turbin *Heat Rate* Terhadap Efisiensi Turbin di PKS Kapasitas 40 Ton/Jam”. Analisa dilakukan pada turbin Pabrik Kelapa Sawit PT. Umbul Mas Wisesa Palm Oil Mill.

## 1.2 Rumusan Masalah

Sebuah pembangkit listrik (Turbin Uap) dapat di ukur kemampuan efisiensinya berdasarkan nilai yang disebut Turbin *Heat rate* dengan satuan Kcal/kWh. Parameter ini menunjukkan nilai energi *input* dengan nilai energi yang dihasilkan dalam satuan kWh. Pada penelitian ini, peneliti ingin menganalisa bagaimana hubungan nilai *Turbin Heat rate* terhadap efisiensi turbin, pada turbin uap di Pabrik Kelapa Sawit.

### 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian tugas akhir sarjana ini meliputi beberapa hal yaitu diantaranya : Temperatur *steam*, Tekanan dan laju aliran massa uap utama (*main steam*), Temperatur, tekanan dan laju aliran massa air umpan (*final feed water*) dan *Generator gross output*.

### 1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk menghitung nilai Turbin *Heat rate* pada bulan Oktober, Nopember dan Desember 2021 pada turbin uap PKS.
2. Untuk menghitung nilai efisiensi pada turbin uap PKS.
3. Untuk menganalisa adakah pengaruh Turbin *Heat rate* terhadap efisiensi yang dihasilkan di turbin uap PKS.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat menjadi sumber referensi bagi industri perkebunan untuk meningkatkan efisiensi sistem pembangkit tenaga Pabrik Kelapa Sawit (PKS).
2. Dapat menjadi sumber referensi pembelajaran di bidang pembangkit tenaga listrik (Turbin Uap) dalam menambah bahan ajar bagi pembaca.
3. Dapat memberikan masukan kepada perusahaan untuk dapat memperbaiki sistem pembangkit tenaga dan meningkatkan *preventive maintenance* di perusahaan tersebut.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### 2.1 Proses Pabrik Kelapa Sawit

Pabrik kelapa sawit adalah suatu pabrik industri yang berguna sebagai tempat pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit/*crude palm oil* (CPO), inti kelapa sawit (*kernel*), serabut (*fiber*) dan cangkang (*shell*). Naibaho (2020) menegaskan, “Pabrik kelapa sawit memiliki 6 stasiun yang berkaitan dalam pengolahan kelapa sawit mulai dari tandan buah segar sampai menjadi minyak dan inti”. Adapun 6 stasiun tersebut diantaranya:

##### a. Stasiun Penerimaan Buah

Sebelum masuk ke tahap penyortiran, buah terlebih dahulu ditimbang di jembatan timbang untuk mengetahui berat TBS dan untuk mengetahui rendemen minyak sawit dan inti sawit. TBS yang telah ditimbang kemudian dibawa ke lantai sortasi sebelum ke tahap selanjutnya (Naibaho 2020).

##### b. Stasiun Perebusan

Selanjutnya pengolahan kelapa sawit adalah proses perebusan. Perebusan ini bertujuan untuk menurunkan tingkat keasaman lemak bebas dan mengurangi kadar air (Naibaho 2020).

##### c. Stasiun Penebah

Pada proses ini buah/brondolan dipisahkan dari tandan sawit dengan menggunakan mesin penebah (*thresher*) dengan cara mengangkat dan membanting tandan buah rebus tersebut (Naibaho 2020).

##### d. Stasiun *Press*

Proses ini merupakan proses dimana minyak diambil dari buah dengan melumatkan dahulu brondolan kemudian dilakukan penekanan dengan mesin *press* untuk memperoleh minyak (Naibaho 2020).



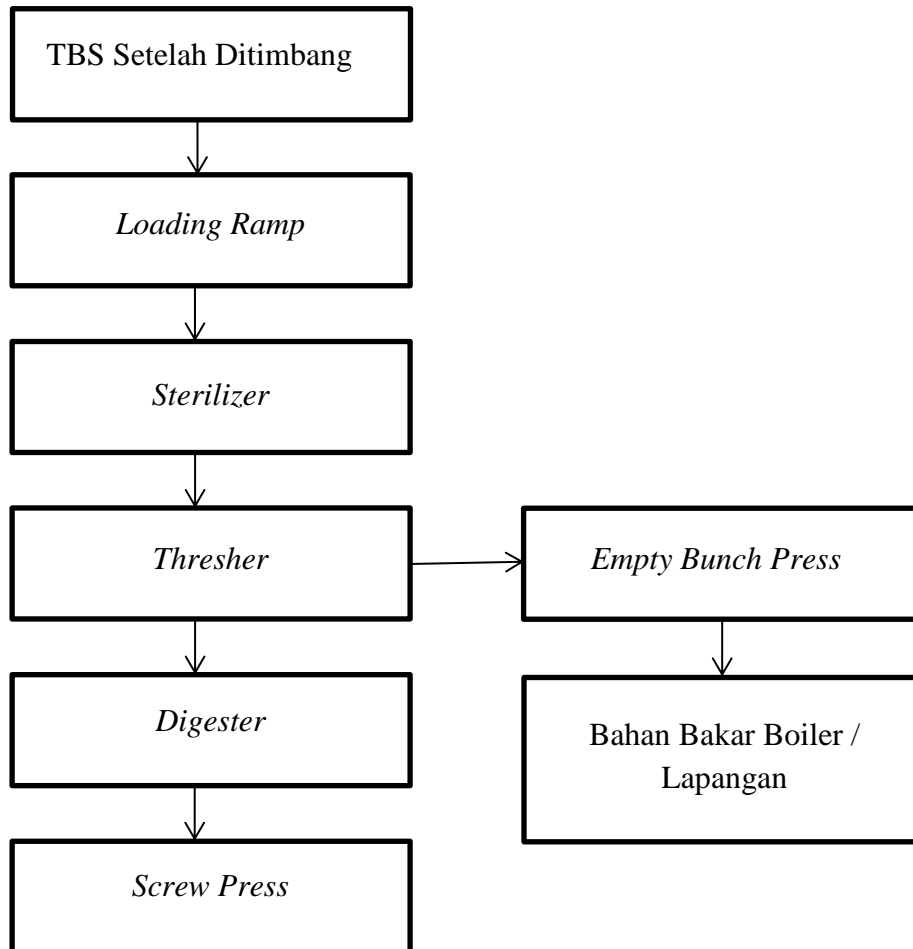
e. Stasiun Pemurnian Minyak

Setelah proses *pressing* minyak kasar akan diperoleh. Selanjutnya minyak tersebut akan melewati proses fraksinasi dan penyaringan agar lebih sempurna. Setelah melewati tahap penyempurnaan minyak dialirkan ke *storage tank* untuk disimpan di tempat penyimpanan sementara sebelum dikirim (Naibaho 2020).

f. Stasiun Pengolahan Biji

*Cake* hasil *press* diolah selanjutnya di stasiun biji untuk memisahkan kembali *fiber* dengan *nut*. *Fiber* ini kemudian akan dibawa ke *boiler* untuk digunakan sebagai bahan bakar, sedangkan *nut* akan kembali diolah untuk memisahkan *shell* dan *kernel* dengan cara dipecah terlebih dahulu. Sama halnya dengan *fiber*, *shell* juga dikirim menuju *boiler* untuk digunakan sebagai bahan bakar. *Kernel* yang diperoleh akan dibawa ke *kernel dryer* untuk dikeringkan (Naibaho 2020).

Berikut merupakan diagram alir proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) menjadi *Crude Palm Oil* (CPO) :



Gambar 2.1 Diagram alir pengolahan TBS pabrik kelapa sawit

Pahan (2008) menegaskan, “Akan tetapi keseluruhan proses yang terjadi pada masing-masing stasiun di pabrik tidak terlepas dari peran penting dari stasiun pembangkit tenaga sebagai pemasok *steam* yang akan digunakan turbin untuk menghasilkan energi listrik dan uap bekasnya untuk pengolahan”.

## 2.2 Pembangkit Tenaga Pabrik Kelapa Sawit

Naibaho (2020) menegaskan, “Uap yang dihasilkan oleh *boiler* yang memiliki nilai entalpi yang dikonversi menjadi tenaga oleh turbin. Uap *superheated* memiliki entalpi yang lebih tinggi dari uap *saturated* yang menyebabkan perbedaan yang ditimbulkannya”.

### a. *Boiler*

Naibaho (2020) menegaskan, “*Boiler* merupakan instalasi penghasil uap yang dipakai untuk menggerakkan turbin uap sebagai pembangkit tenaga di pabrik kelapa sawit. *Boiler* bekerja mengkonversi panas yang dihasilkan bahan bakar kedalam bentuk uap yang mengandung entalpi, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap.

### b. Turbin Uap

P. Shlyakhin (1990) menegaskan, “Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi 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 berbagai bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk transportasi”.

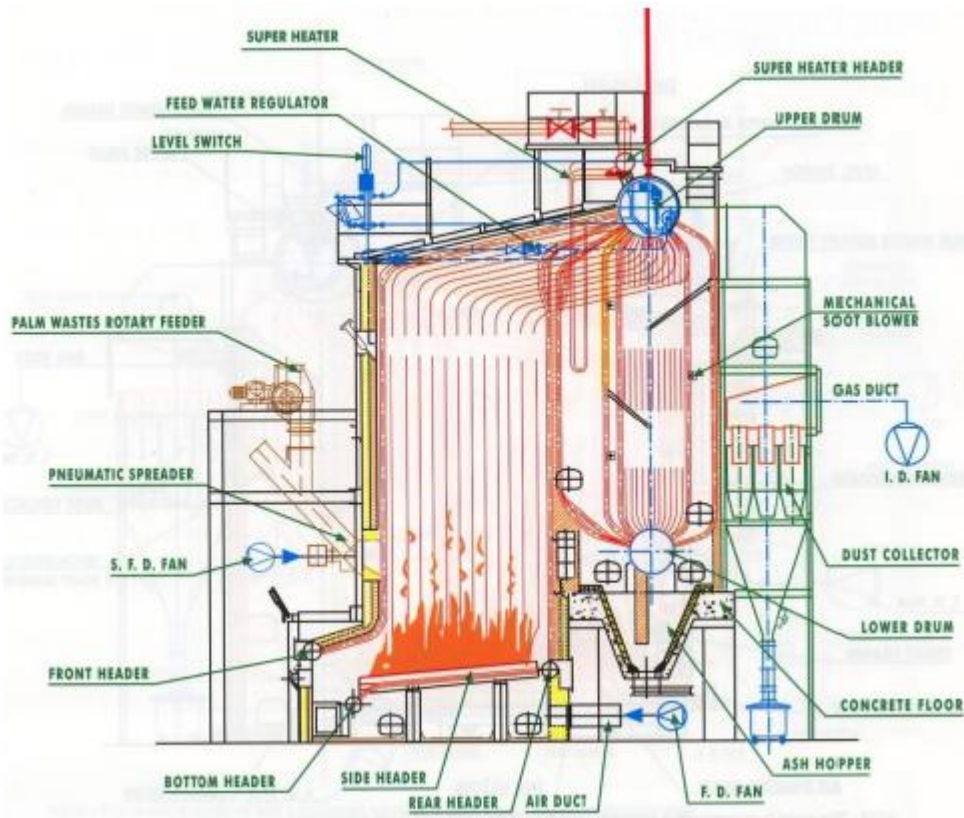
### c. Generator

Generator merupakan mesin konversi yang merubah energi kimia dari bahan bakar diesel kedalam energi listrik dengan menggunakan *alternator* diesel (Naibaho 2020).

### d. BPV

BPV (*Back Pressure Vessel*) merupakan bejana yang menyimpan dan mendistribusikan uap dengan tekanan rendah untuk proses pengolahan di pabrik (Naibaho 2020).

## 2.2.1 Boiler



Gambar 2.2 Boiler (El-Wakil 2015)

*Boiler* merupakan instalasi penghasil uap yang dipakai untuk menggerakkan turbin uap sebagai pembangkit tenaga di pabrik kelapa sawit. *Boiler* bekerja mengkonversi panas yang dihasilkan bahan bakar kedalam bentuk uap yang mengandung *enthalpy*, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Berdasarkan dari jenis uap yang dihasilkan *boiler* merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia menjadi kerja. *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 suatu pembakaran bahan bakar (USU 2018).

*Boiler* berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi kimia (potensial) dari bahan bakar menjadi energi panas. Secara umum *boiler* terdiri dari 2 komponen utama, yaitu (USU 2018) :

1. Dapur sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas (USU 2018).
2. Alat penguap (*evaporator*) yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial uap (energi panas).

Kedua komponen tersebut diatas telah memungkinkan sebuah *boiler* untuk beroperasi. Uap yang dihasilkan *boiler* dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan antara lain adalah (USU 2018):

- a. Pembangkit daya listrik, seperti pada PLTU dimana uap tersebut untuk menggerakkan turbin agar dapat menghasilkan listrik.
- b. Industri, seperti pada pabrik kelapa sawit dimana uap dipakai untuk menghasilkan listrik dan juga sebagai pemanas pada alat-alat pengolahannya.

Naibaho (2020) menegaskan, “*Boiler* pada dasarnya terdiri dari *drum* yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air”. Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, maka *boiler* diklasifikasikan menjadi :

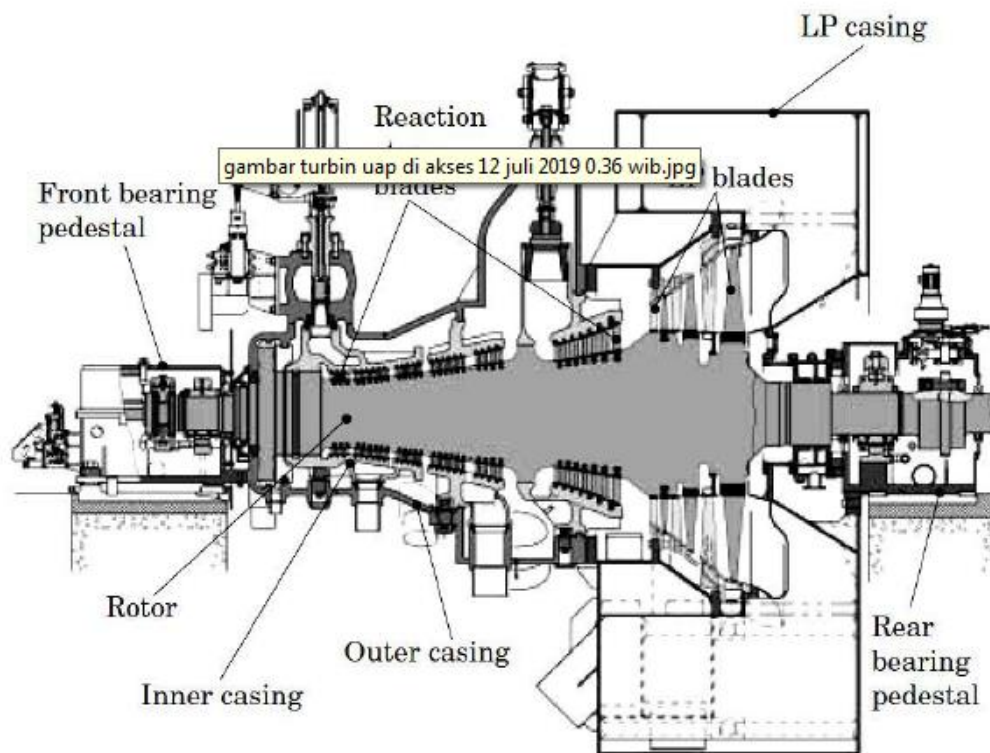
1. *Boiler* Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

*Boiler* jenis ini pada bagian *tube* nya dialiri dengan gas pembakaran dan bagian lainnya yaitu *shell* dialiri air yang akan diuapkan. *Tube* langsung didinginkan oleh air yang melindunginya. Jumlah panas dari *boiler* tergantung dari jumlah laluan *horizontal* dari gas pembakaran diantara *furnance* dan pipa-pipa api. Laluan gas pembakaran pada *furnance* dihitung sebagai panas pertama. *Boiler* jenis ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala menengah (Naibaho 2020).

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

*Boiler* jenis ini banyak dipakai untuk kebutuhan uap skala besar. Prinsip kerja dari *boiler* pipa air berkebalikan dengan pipa api, gas pembakaran dari *furnance* dilewatkan ke pipa-pipa yang berisi air yang akan diuapkan (Naibaho 2020).

## 2.2.2 Turbin Uap



Gambar 2.3 Turbin Uap (Shlyakhin 1990)

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi 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 (Shlyakhin 1990).

### a. Komponen Turbin Uap

Berdasarkan gambar 2.3 diatas, berikut merupakan komponen turbin uap secara umum (Shlyakhin 1990) :

#### 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 *stationary 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. *Bearing*

*Bearing* pedestal merupakan dudukan dari poros *rotor*.

4. *Journal Bearing*

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

5. *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 mundurnya poros *rotor*.

6. *Main Oil Pump*

*Main oil pump* berfungsi untuk memompakan oli dari tangki untuk disalurkan pada bagian-bagian yang berputar pada turbin. Dimana fungsi dari *lube oil* adalah :

- a. Sebagai pelumas pada bagian-bagian yang berputar.
- b. Sebagai pendingin (*oil cooler*) yang telah panas dan masuk kebagian turbin dan akan bersirkulasi.
- c. Sebagai pelapis (*oil film*) pada bagian turbin yang bergerak mengelilingi komponen.
- d. Sebagai pembersih (*oil cleaner*) dimana oli yang telah kotor sebagai akibat dari benda benda yang berputar dalam turbin akan didorong keluar secara sirkuler oleh oli yang masuk.

7. *Gland Packing*

*Gland Packing* berfungsi untuk menahan kebocoran, baik itu kebocoran uap maupun kebocoran oli.

8. *Labirinth Ring*

*Labirinth ring* mempunyai fungsi yang sama dengan *gland packing*.

9. *Impuls Stage*

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

10. *Stasionary Blade*

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

11. *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.

12. *Control Valve*

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

13. *Stop Valve*

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

14. *Reducing Gear*

*Reducing gear* merupakan bagian turbin yang biasanya terpasang pada turbin-turbin dengan kapasitas besar dan berfungsi untuk mengurangi putaran poros rotor turbin. *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 maju dan mundurnya poros.

Secara umum, bagian-bagian utama dari sebuah turbin uap adalah :

- a. *Nozzle*, merupakan media ekspansi uap yang merubah energi potensial menjadi energi kinetik.
- b. Sudu, merupakan komponen yang menerima gaya dari energi kinetik uap melalui *nozzle*.
- c. Cakram, merupakan tempat sudu-sudu terpasang secara radial pada poros.
- d. Poros, merupakan komponen utama dimana cakram-cakram sepanjang poros dipasangkan.
- e. Bantalan, komponen ini berfungsi untuk mendukung ujung-ujung poros dan menerima banyak beban.
- f. Kopling, merupakan media penghubung antara mekanisme turbin uap dengan mekanisme yang digerakkan (generator).

#### b. Prinsip Kerja Turbin Uap

Muin (1993) menegaskan, “Turbin uap terdiri dari sebuah cakram yang dikelilingi oleh daun-daun cakram yang disebut dengan sudu-sudu. Uap bertekanan yang berasal dari ketel uap yang telah dipanaskan terlebih dulu menggunakan bahan bakar cangkang dan *fiber* masuk kedalam turbin melalui *nozzle*. Melalui *nozzle*, energi kalor dari uap diubah menjadi energi energi kinetis dan uap mengalami ekspansi. Tekanan uap keluar dari *nozzle* lebih kecil pada saat masuk ke dalam *nozzle*”.

Uap yang mengalir keluar dari *nozzle* diarahkan ke sudu-sudu turbin. Uap yang mengalir melalui kisi-kisi antara sudu turbin diarahkan menyesuaikan bentuk lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini mengakibatkan gaya yang mendorong dan menggerakkan roda dan poros turbin. Apabila uap masih memiliki kecepatan saat keluar dari sudu-sudu turbin, maka dari itu tidak semua energi kinetis uap mengalir melalui sudu-sudu dengan maksimal.

Manalu (2016) menegaskan, “Energi kinetis yang tersisa agar dapat dimanfaatkan kembali maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak. Ketika hendak memasuki baris kedua sudu gerak, maka di antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (*guide blade*) yang berfungsi untuk mengubah arah kecepatan uap, agar uap dapat mengalir ke baris sudu gerak kedua dengan arah yang sesuai. Kecepatan aliran uap ketika melewati sudu gerak terakhir harus mampu dibuat sekecil mungkin supaya energi kinetis yang ada mampu dipergunakan sebanyak-banyaknya. Maka efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil”.

### 2.3 Proses Pembentukan Uap

El-Wakil (2015) menegaskan, “Proses terbentuknya uap terjadi melalui perubahan energi panas pembakaran bahan bakar menjadi energi panas dalam bentuk uap. Panas hasil pembakaran digunakan untuk menaikkan entalpi air sampai terbentuk uap air yang mengandung energi dalam yang disimpan dalam bentuk panas dan tekanan. Salah satu proses pembentukan uap adalah dengan menyentuh titik didih air, dimana titik didih suatu zat cair bergantung pada tekanan yang diberikan pada permukaan zat cair. Untuk menghasilkan uap yang lebih besar digunakan ketel uap, dimana fluida kerja yang digunakan adalah air”. Air memiliki sifat-sifat yang lebih menguntungkan bila dibandingkan dengan fluida kerja yang lain.

Adapun kelebihan penggunaan air sebagai fluida kerja adalah :

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

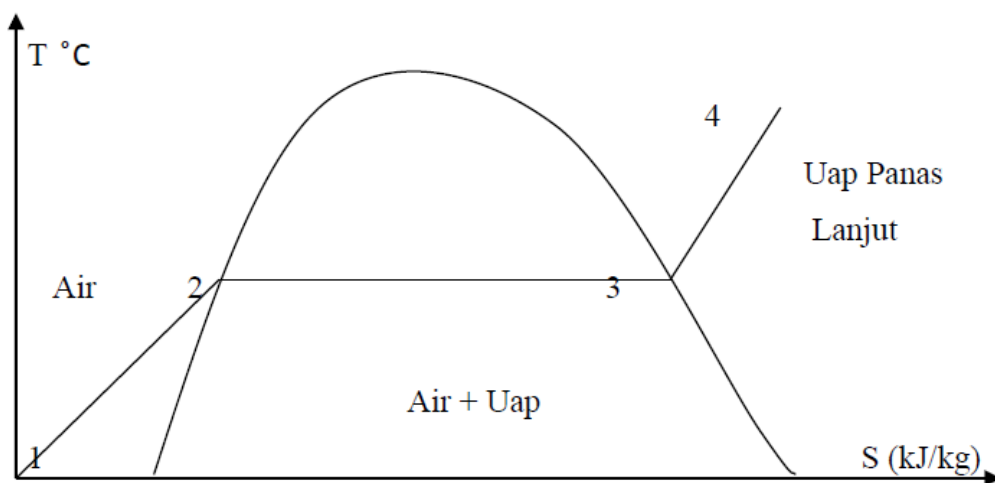
Uap yang terbentuk dari pemanasan ini diubah menjadi uap basah ataupun uap kering melalui beberapa tahap. Dengan demikian uap yang terbentuk dapat digolongkan kedalam berbagai bentuk jenis uap, yaitu :

#### 2.3.1 Uap Basah

Kondisi uap ini mengandung titik-titik air. Kualitas uap ini dapat dinyatakan dengan kualitas uap tertentu ( $x$ ). Dalam hal ini temperatur air dan uap adalah sama seperti ditunjukkan pada gambar dibawah. Kondisi uap berada pada titik dua dan tiga (El-Wakil 2015).

### 2.3.2 Uap Jenuh

Kondisi uap ini didapatkan melalui proses pemanasan uap jenuh pada tekanan konstan, sehingga temperaturnya meningkat (El-Wakil 2015).



Gambar 2.4 Diagram T-S Proses Pembentukan Uap (Harahap 2016)

Pemanasan air dari keadaan awal (titik 1) menjadi kondisi cair jenuh (titik 2). Pemanasan dari titik 1 menuju ke titik 2 ini hanya akan meningkatkan temperatur, tetapi tidak merubah fasa cair. Perubahan fasa akan terjadi jika panas konstan diberikan pada air yang sudah mencapai keadaan di titik 2. Dalam hal ini pemanasan tidak akan menaikkan temperatur air yang dipanaskan, Pemberian panas selanjutnya akan merubah titik-titik air menjadi fasa uap atau pemanasan dari titik 2 hingga titik 3 (Harahap 2016).

### 2.3.3 Analisa Kerugian Nilai Entalpi di Turbin

Shlyakhin (1990) menegaskan, “Pertambahan energi kalor yang diperlukan untuk menjalankan proses mekanis pada praktek aktual dibandingkan nilai teoritis yang proses ekspansinya terjadi sesuai dengan proses adiabatik, yaitu kerugian

energi pada turbin”. Pada suatu tingkat turbin, jumlah penurunan kalor yang benar-benar diubah menjadi kerja mekanis pada poros turbin adalah lebih kecil daripada nilai-nilai yang dihitung untuk tingkat turbin ideal. Kerugian mekanis, kebocoran uap melalui *gland* dan lain-lain, membantu dalam meningkatkan kehilangan kemampuan kerja pada poros turbin. Semua kerugian yang timbul pada turbin dapat dibagi menjadi beberapa kelompok :

#### 1. Kerugian Dalam

Kerugian dalam adalah kerugian yang berkaitan dengan kondisi-kondisi uap pada saat uap tersebut mengalir melewati turbin.

Jenis-jenis kerugian berikut dapat dikelompokkan menjadi kerugian dalam yaitu (Shlyakhin 1990) :

- a. Kerugian pada katup-katup pengatur.
- b. Kerugian pada *nozzle*.
- c. Kerugian kecepatan keluar.
- d. Kerugian akibat gesekan cakram yang merupakan tempat pemasangan sudu-sudu dan kerugian pengadukan (*windage*).
- e. Kerugian akibat ruang bebas (*clearance*) antara rotor dan cakram-cakram sudu pengarah.
- f. Kerugian akibat kebasahan uap.
- g. Kerugian pada pemipaan buang (*exhaust piping*).

#### 2. Kerugian Luar

Kerugian luar adalah kerugian yang tidak mempengaruhi kondisi-kondisi uap. Jenisnya adalah kehilangan kebocoran uap dari perapat perapat *gland labyrinth* (Shlyakhin 1990).

#### 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 termodinamika pertama adalah hukum konversi kekekalan energi. 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).

Pernyataan matematis paling umum mengenai hukum pertama adalah yang untuk sistem terbuka yang mengalami perubahan dalam bentuk trasien. Yang dimaksud dengan sistem adalah setiap bagian tertentu, yang volumenya dan batas-batasnya tidak perlu tetap, dimana perpindahan dan konversi energi dan massa akan dikaji (Potter, C dan W 2011).

Didalam sistem termodinamika dikenal 4 proses perubahan wujud atau perukaran energi, yaitu :

1. Proses pada tekanan konstan (isobarik)

Pada proses tekanan konstan, tekanan awal proses sama dengan tekanan akhir proses atau  $p_1 = p_2$  (El-Wakil 2015).

2. Proses pada volume konstan (isokhorik)

Pada proses isokhorik, volume awal akan sama dengan volume akhir gas atau  $V_1 = V_2$  (El-Wakil 2015).

3. Proses pada temperatur konstan (isotermal)

Pada proses isothermal, temperatur awal proses akan sama dengan temperatur akhir proses atau  $T_1 = T_2$  (El-Wakil 2015).

4. 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 (El-Wakil 2015).

a. Entalpi

Entalpi adalah istilah dalam termodinamika yang menyatakan jumlah energi internal dari suatu sistem termodinamika ditambah energi yang digunakan untuk melakukan kerja. Dari tinjauan, entalpi tidak bisa diukur namun yang bisa dihitung adalah nilai perubahannya. Secara matematis, perubahan entalpi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$H = U + PV \dots \dots \dots (2.1)$$

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 sistem (El-Wakil 2015).

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

Mencari nilai entalpi *superheated* dengan cara interpolasi dengan menggunakan tabel uap (El-Wakil 2015).

$$T = H$$

$$T_1 = H_1$$

$$T_2 = H_2$$

$$T_x = H_x$$

Untuk menemukan nilai x dapat dilakukan dengan interpolasi seperti :

$$\frac{H_x - H_1}{H_2 - H_1} = \frac{T_x - T_1}{T_2 - T_1}$$

$$\frac{H_x - H_1}{H_2 - H_1} = \frac{T_x - T_1}{T_2 - T_1} \dots\dots\dots(2.2)$$

Atau

$$\frac{H_2 - H_x}{H_1 - H_x} = \frac{T_2 - T_x}{T_1 - T_x}$$

$$\frac{H_x - H_2}{H_1 - H_2} = \frac{T_x - T_2}{T_1 - T_2} \dots\dots\dots(2.3)$$

#### 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. Kerja adalah komoditas yang paling berharga. Kerja dapat dikonversikan seluruhnya dan secara terus menerus menjadi kalor. Tetapi sebaliknya, kalor tidak dapat dikonversikan secara keseluruhan dan terus menerus menjadi kerja. Dengan kata lain, kalor tidak seluruhnya tersedia untuk melakukan kerja secara terus menerus, yaitu dalam siklus (Potter, C dan W 2011).

Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\delta U = \delta V - \delta W \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

$\delta U$  = energi total

$\delta V$  = kalor total

$\delta W$  = kerja total

##### a. Entropi

Entropi adalah salah satu besaran termodinamika yang mengukur energi dalam sistem per-satuan temperatur yang tidak dapat digunakan untuk melakukan usaha. Mungkin kata lain yang paling umum untuk menjelaskan apa itu entropi

(berdasarkan hukum termodinamika), entropi dari sebuah sistem tertutup selalu naik dan pada kondisi perpindahan panas, energi panas berpindah dari komponen yang bersuhu tinggi ke komponen yang bersuhu lebih rendah. Pada suatu sistem yang panasnya terisolasi, entropi hanya berjalan satu arah (bukan sistem reversibel atau bolak-balik). 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 (Potter, C dan W 2011).

Pada termodinamika klasik, konsep entropi diartikan pada hukum kedua termodinamika, yang menyatakan bahwa entropi dari sistem yang terisolasi selalu bertambah atau tetap (konstan). Maka, entropi juga dapat menjadi ukuran kecenderungan suatu proses, apakah proses tersebut cenderung akan dapat melakukan usaha atau akan berlangsung ke arah tertentu. Entropi juga menunjukkan bahwa energi panas selalu mengalir secara spontan dari daerah yang suhunya lebih tinggi ke daerah yang suhunya lebih rendah. Entropi termodinamika mempunyai dimensi energi dibagi temperatur, yang mempunyai Satuan Internasional (SI) *joule* per kelvin (El-Wakil 2015).

## 2.5 *Heat Rate*

*Heat rate* merupakan ukuran umum dari efisiensi suatu pembangkit listrik tenaga uap dalam mengkonversi energi atau panas (Btu/kWh) menjadi satuan unit tenaga (listrik). Panas yang dimaksud disini merupakan panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar di *boiler*. Dari proses pembakaran bahan bakar di ruang dapur (*furnance*), maka bahan bakar akan menghasilkan panas, panas tersebut kemudian akan memanasi air yang ada di pipa yang kemudian akan menghasilkan uap yang akan digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu pada turbin yang kemudian akan menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik. Daya listrik yang dihasilkan oleh turbin uap tersebut akan kemudian digunakan dalam operasional suatu pabrik (Manan 2010).



*Heat rate* merupakan kebalikan dari efisiensi suatu pembangkit tenaga, maksudnya adalah apabila nilai *heat rate* suatu pembangkit tenaga tinggi maka efisiensi pembangkit tenaga tersebut akan rendah, begitupun sebaliknya. Semakin rendah penggunaan kalor dalam menghasilkan listrik maka efisiensi pembangkit tenaga akan naik dan penggunaan bahan bakar akan semakin sedikit dan menekan *cost*. *Heat rate* juga dapat di defenisikan dengan energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik 1 kWh pada suatu pembangkit tenaga. Dengan kata lain, mengukur efisiensi pembangkit listrik menggunakan metode *heat rate* merupakan proses pengoptimalan dari panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran bahan bakar menjadi listrik. *Heat rate* dapat di formulasikan sebagai berikut (Hendra 2015) :

$$Heat\ rate = \frac{Hi}{\text{daya yang dihasilkan}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

Hi = Entalpi sistem (kJ/kg)

Daya yang dihasilkan = Daya yang dihasilkan turbin (kWh)

Pada suatu pembangkit listrik tenaga uap (turbin), terdapat beberapa titik pengambilan untuk mengukur nilai *heat rate*, yaitu (Yusuf 2014) :

1. Turbin *heat rate* (THR) adalah laju *heat* yang masuk ke dalam siklus uap yang dihitung dari parameter fluida yang masuk dan keluar dari suatu sistem (turbin).
2. *Gross Plant Heat Rate* (THR) adalah laju *heat* yang masuk kedalam *boiler* dihitung berdasarkan bahan bakar yang masuk.
3. *Net plant heat rate* (NPHR) adalah laju *heat* yang masuk ke dalam *boiler* atau *net output*, daya yang dihasilkan suatu pembangkit listrik setelah dikurangi daya yang dipakai sendiri oleh pembangkit tersebut untuk kebutuhan pabrik.

## 2.6 Turbin *Heat Rate*

Turbin *heat rate* adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk memproduksi listrik sebesar 1 kWh dan dinyatakan dalam (Kcal/kWh). Turbin *heat rate* menunjukkan perbandingan dari energi total yang digunakan untuk memutar turbin, dengan energi listrik yang dihasilkan oleh generator (Sunarwo dan Supriyo 2015).

Turbin *heat rate* dapat dirumuskan sebagai berikut (Yudisaputro 2010) :

$$\text{Turbin Heat Rate} = \frac{m_1 (H_1 - H_2)}{\text{Gross Output}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

- THR : Turbin *heat rate* (kJ/kWh)
- m1 : Laju aliran massa fluida (kg. uap/jam)
- H1 : Entalpi uap masuk (kJ/kg)
- H2 : Entalpi uap keluar (kJ/kg)
- Gross Output : Daya output generator turbin (kWh)

## 2.7 Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin merupakan parameter yang menyatakan derajat keberhasilan komponen atau sistem turbin mendekati desain atau proses ideal dengan satuan persen (%). Efisiensi turbin uap dapat dihitung dengan persamaan berikut (Sumarwo dan Supriyo 2015) :

$$\% \text{ Turbin} = \frac{860}{\text{Turbin Heat Rate}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

- % Turbin : Efisiensi Turbin (%)
- 860 : Energi kalor dalam 1 kWh (Kcal)
- THR : Turbin *heat rate* (Kcal/kWh)

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1 Tempat dan Waktu

Berikut adalah tempat dan waktu penelitian yang dilakukan pada penelitian pengaruh Turbin *Heat rate* terhadap efisiensi turbin di Pabrik Kelapa Sawit.

#### 3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan di Pabrik Kelapa Sawit, Perkebunan PT. Umbul Mas Wisesa Palm Oil Mill, Desa Tanjung Mulia, Kecamatan Kampung Rakyat, Kabupaten Labuhan Batu Selatan, Provinsi Sumatera Utara.

#### 3.1.2 Waktu Penelitian

Adapun waktu pelaksanaan kegiatan ini adalah 2 minggu setelah proposal judul tugas akhir disetujui.

Tabel 3.1 Jadwal 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						■

### 3.2 Bahan dan Alat

#### 3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini antara lain adalah :

- a. Data *logsheet* harian mandor.
- b. Data sekunder (Bulan Oktober 2021-Desember 2021) yang terlampir pada lampiran

### 3.2.2 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah :

a. Turbin



Gambar 3.1 Turbin

Turbin uap yang digunakan adalah turbin milik Pabrik Kelapa Sawit PT. Umbul Mas Wisesa.

b. Boiler



Gambar 3.2 Boiler

Boiler yang digunakan adalah boiler milik Pabrik Kelapa Sawit PT. Umbul Mas Wisesa.

c. *Pressure Gauge*



Gambar 3.3 Pressure Gauge

*Pressure gauge* yang digunakan adalah *pressure gauge* di Pabrik Kelapa Sawit PT. Umbul Mas Wisesa.

d. *Control Panel*

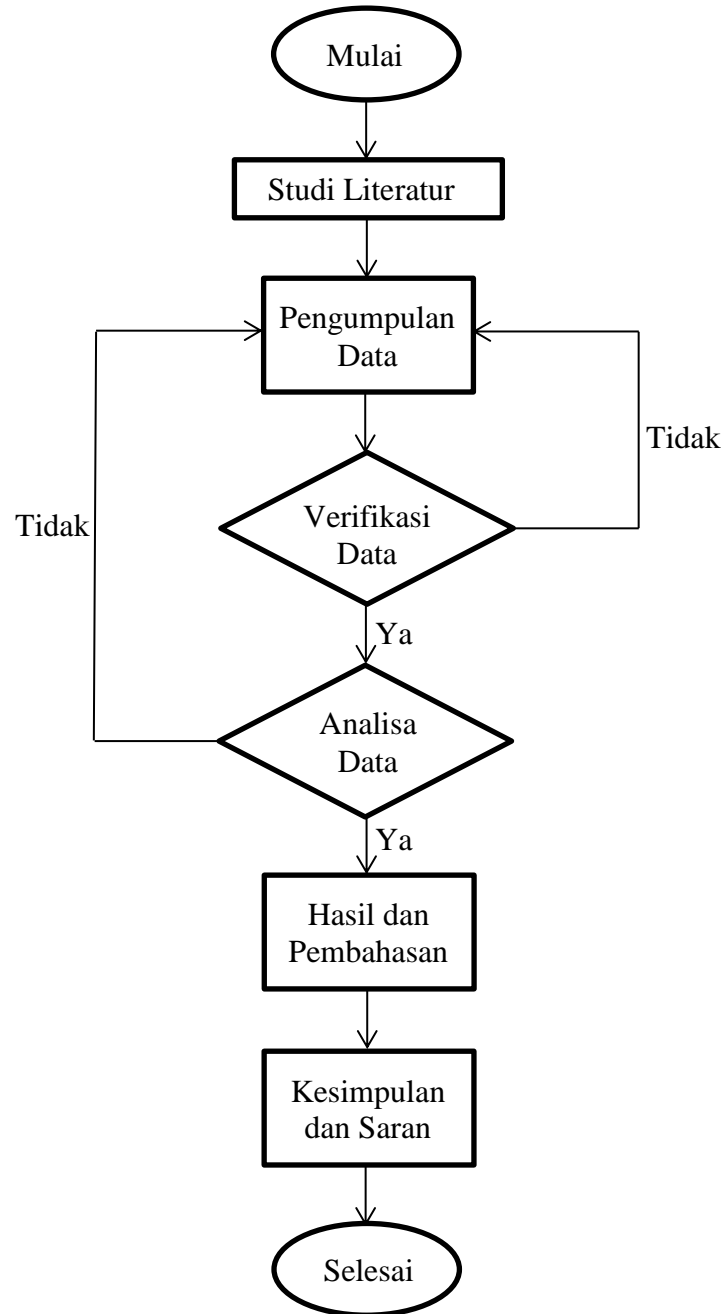


Gambar 3.4 Control Panel

*Control panel* yang digunakan adalah *control panel* di Pabrik Kelapa Sawit PT. Umbul Mas Wisesa.

### 3.3 Bagan Alir Penelitian

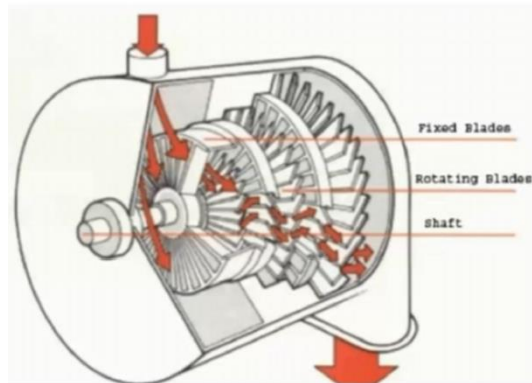
Diagram alir proses penelitian ini dapat dilihat pada gambar sistematis dibawah ini :



Gambar 3.5 Bagan Alir Penelitian

### 3.4 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 tiga bulan.



Gambar 3.6 Aliran Steam dalam Turbin

### 3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Mencatat seluruh kegiatan yang terjadi selama proses di stasiun pembangkit tenaga (*power plant*) dalam buku harian mandor.
2. Mencatat data waktu pengolahan, tekanan *steam* masuk daya yang dihasilkan oleh turbin.
3. Melakukan wawancara dengan mandor serta pembimbing lapangan yang mengerti tentang stasiun pembangkit tenaga (*power plant*).
4. Melakukan perhitungan nilai *Turbin Heat rate* (THR) dan efisiensi turbin tersebut.
5. Menganalisa dan menyimpulkan mengenai hubungan antara efisiensi turbin terhadap *Turbin Heat rate*.

### 3.6 Variabel

#### 3.6.1 Variabel Bebas

1. Entalpi (Kj/kg)
2. Daya *output* generator turbin (kWh)
3. *Turbin Heat rate* (Kcal/kWh)

### 3.6.2 Variabel Tetap

1. Efisiensi Turbin (%)

### 3.7 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan selama 2 minggu di Pabrik Kelapa Sawit PT. Umbul Mas Wisesa Palm Oil Mill.

### 3.8 Pengolahan Data

1. Pengolahan Kualitatif

Data yang didapat berupa sajian tentang performa stasiun pembangkit tenaga.

2. Pengolahan Kuantitatif

Data yang diambil tersebut adalah data sekunder dari buku harian mandor mengenai performa stasiun pembangkit tenaga (*power plant*) selama 3 bulan (Oktober – November – Desember 2021).

Kemudian dilakukan analisa perhitungan dengan rumus sebagai berikut :

- a. Entalpi

Mencari nilai entalpi *superheated* dengan cara interpolasi menggunakan tabel uap dengan menggunakan rumus 2.2.

$$\frac{H_x - H_1}{H_2 - H_1} = \frac{T_x - T_1}{T_2 - T_1}$$

- b. Turbin *Heat Rate* (THR)

Mencari nilai THR dengan menggunakan rumus 2.5.

$$\text{Turbin Heat Rate} = \frac{m_1 (H_1 - H_2)}{\text{Gross Output}}$$

- c. Efisiensi Turbin ( $\eta$  Turbin)

Mencari nilai efisiensi turbin dengan menggunakan rumus 2.7.

$$\% \text{ Turbin} = \frac{860}{\text{Turbin Heat Rate}} \times 100\%$$



## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa dan Pembahasan Turbin *Heat Rate*

Berdasarkan dari data yang diperoleh dan untuk menghitung nilai turbin *heat rate* diperlukan nilai entalpi. Untuk menghitung nilai entalpi dapat menggunakan rumus 2.2.

#### 4.1.1 Entalpi Total Harian

Tabel 4.1 Data *steam* tanggal 01 Oktober 2021

Tanggal	T Steam Masuk (°C)	P Steam Masuk (Bar)	T Steam Keluar (°C)	P Steam Keluar (Bar)	Laju Aliran Massa (kg.uap/jam)	H1 (kJ/kg)	H2 (kJ/kg)	H Total(kJ/kg)
01 Oktober 2021	296.6	28.74	133.55	3	41241.19	2986.156	2725.3	260.856

Dari tabel 4.1 dapat diperoleh temperatur *steam* masuk, temperatur *steam* keluar beserta tekanannya. Untuk itu, bisa dilihat dalam tabel *steam* A.II.3 (SI) . Jika tidak ditunjukkan dalam tabel *steam*, maka harus menggunakan rumus interpolasi 2.2. Berikut pembahasannya :

Diketahui :

$$T_{\text{steam in}} : 296.6^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{steam in}} : 28.74 \text{ Bar}$$

Ditanya : H1?

Maka, dari *steam* tabel A.II.3(SI) *Superheated* :

$$\frac{H_x - H_1}{H_2 - H_1} = \frac{T_x - T_1}{T_2 - T_1}$$

$$\frac{H_x - 2885.5}{2993.5 - 2885.5} = \frac{296.6 - 250}{300 - 250}$$

$$H_x - 2885.5 = \left( \frac{2993.5 - 2885.5}{300 - 250} \right) \times (296.6 - 250)$$

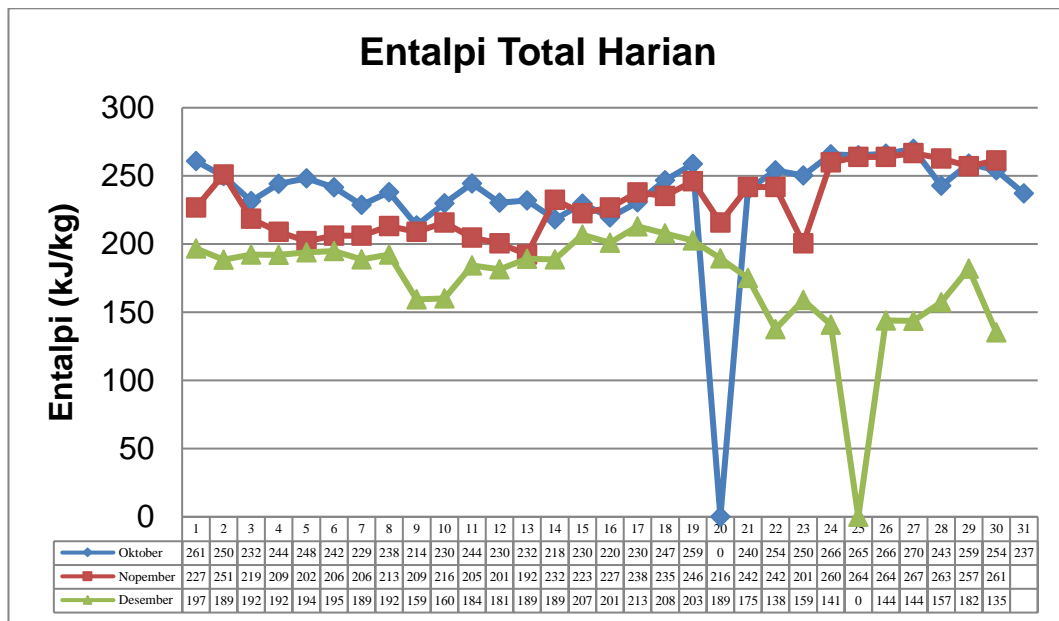
$$H_x - 2885.5 = 100.656$$

$$H_x = 2885.5 + 100.656$$

$$H_x = 2986.156 \text{ kJ/kg}$$

Maka diperoleh H1 adalah sebesar 2986.156 kJ/kg, untuk mencari H2 adalah dengan melakukan perhitungan dengan rumus yang sama.

Berikut merupakan grafik entalpi total harian selama tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021) :



Gambar 4.1 Grafik Entalpi total bulan Oktober 2021-Desember 2021

Dari data grafik diatas menunjukkan nilai entalpi total harian pada bulan Oktober 2021-Desember 2021. Nilai entalpi diperoleh dari nilai temperatur *steam* dan nilai tekanan *steam* yang masuk dan keluar dari turbin. Entalpi total merupakan selisih antara entalpi masuk dengan entalpi keluar. Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai entalpi rata-rata harian pada bulan Oktober 2021-Desember 2021 terjadi kenaikan maupun penurunan nilai entalpi.

- a. Berdasarkan data grafik diatas pada bulan Oktober 2021 menunjukkan nilai entalpi total tertinggi terjadi pada tanggal 27 Oktober 2021 sebesar 269.835 kJ/kg dan nilai entalpi total terendah terjadi pada tanggal 09 Oktober 2021 dengan nilai entalpi sebesar 213.671 kJ/kg. Nilai entalpi diperoleh dari temperatur dan tekanan *steam*, maka dari itu faktor-faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya nilai entalpi adalah temperatur dan tekanan *steam*, dengan kata lain semakin tinggi temperatur dan tekanan *steam* maka semakin tinggi nilai entalpi, sementara semakin rendah tekanan dan temperatur *steam* maka semakin rendah pula nilai entalpi.

Nilai entalpi total tertinggi didapatkan karena sesuai dengan penjelasan diatas, bahwa entalpi dipengaruhi oleh temperatur masuk dan tekanan masuk *steam* dikurangi dengan temperatur dan tekanan keluar *steam*. Pada entalpi tertinggi temperatur *steam* masuk sekitar 299.2°C dan tekanan masuk *steam* adalah 29.23 Bar sehingga menghasilkan entalpi 2991.927 kJ/kg. Sedangkan temperatur *steam* keluar adalah 131.19°C dan tekanan *steam* keluar yaitu 2.8 Bar, sehingga menghasilkan entalpi sebesar 2722.092 kJ/kg sehingga menghasilkan selisih 269.835 kJ/kg.

Nilai entalpi total terendah didapatkan karena sesuai penjelasan diatas bahwa entalpi dipengaruhi oleh temperatur masuk dan tekanan *steam* masuk dikurangi dengan temperatur dan tekanan *steam* keluar. Pada entalpi terendah, temperatur *steam* masuk sebesar 280°C dan tekanan *steam* masuk yaitu 27.69 Bar sehingga menghasilkan nilai entalpi sebesar 2938.971 kJ/kg. Sedangkan temperatur *steam* keluar adalah 133.55°C dan tekanan *steam* keluar 3 Bar. Sehingga menghasilkan entalpi sebesar 2725.3 kJ/kg sehingga menghasilkan selisih 213.671 kJ/kg. Tinggi rendahnya temperatur dan tekanan *steam* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu penggunaan bahan bakar pada *boiler*, efisiensi penggunaan panas pada bahan bakar pada *boiler* dan efisiensi turbin itu sendiri dalam menerima panas dari *steam* masuk.

- b. Berdasarkan data grafik diatas pada bulan Nopember 2021 menunjukkan nilai entalpi total tertinggi terjadi pada tanggal 27 Nopember 2021 sebesar 266.72 kJ/kg dan nilai entalpi total terendah terjadi pada tanggal 13 Nopember 2021 dengan nilai entalpi sebesar 192.36 kJ/kg. Nilai entalpi diperoleh dari temperatur dan tekanan *steam*, maka dari itu faktor-faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya nilai entalpi adalah temperatur dan tekanan *steam*, dengan kata lain semakin tinggi temperatur dan tekanan *steam* maka semakin tinggi nilai entalpi, sementara semakin rendah tekanan dan temperatur *steam* maka semakin rendah pula nilai entalpi.

Nilai entalpi total tertinggi didapatkan karena sesuai dengan penjelasan diatas, bahwa entalpi dipengaruhi oleh temperatur masuk dan tekanan masuk *steam* dikurangi dengan temperatur dan tekanan keluar *steam*. Pada entalpi tertinggi temperatur *steam* masuk sekitar 300 °C dan tekanan masuk *steam* adalah 28.50 Bar sehingga menghasilkan entalpi 2993.50 kJ/kg. Sedangkan temperatur *steam* keluar adalah 135.65°C dan tekanan *steam* keluar yaitu 3.1 Bar, sehingga menghasilkan entalpi sebesar 2726.78 kJ/kg sehingga menghasilkan selisih 266.72 kJ/kg.

Nilai entalpi total terendah didapatkan karena sesuai penjelasan diatas bahwa entalpi dipengaruhi oleh temperatur masuk dan tekanan *steam* masuk dikurangi dengan temperatur dan tekanan *steam* keluar. Pada entalpi terendah, temperatur *steam* masuk sebesar 273°C dan tekanan *steam* masuk yaitu 28.40 Bar sehingga menghasilkan nilai entalpi sebesar 2919.14 kJ/kg. Sedangkan temperatur *steam* keluar adalah 135.65°C dan tekanan *steam* keluar 3.1 Bar. Sehingga menghasilkan entalpi sebesar 2726.78 kJ/kg sehingga menghasilkan selisih 192.36 kJ/kg. Tinggi rendahnya temperatur dan tekanan *steam* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu penggunaan bahan bakar pada *boiler*, efisiensi penggunaan panas pada bahan bakar pada *boiler* dan efisiensi turbin itu sendiri dalam menerima panas dari *steam* masuk.

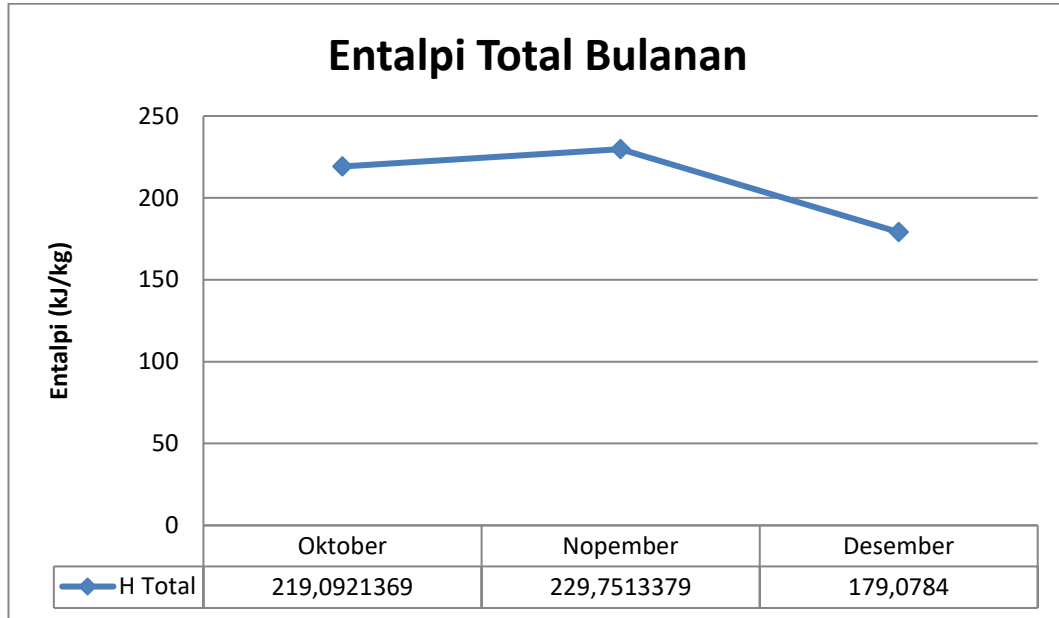
- c. Berdasarkan data grafik diatas pada bulan Desember 2021 menunjukkan nilai entalpi total tertinggi terjadi pada tanggal 17 Desember 2021 sebesar 2939.8 kJ/kg dan nilai entalpi total terendah terjadi pada tanggal 30 Desember 2021 dengan nilai entalpi sebesar 2860.48 kJ/kg. Nilai entalpi diperoleh dari temperatur dan tekanan *steam*, maka dari itu faktor-faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya nilai entalpi adalah temperatur dan tekanan *steam*, dengan kata lain semakin tinggi temperatur dan tekanan *steam* maka semakin tinggi nilai entalpi, sementara semakin rendah tekanan dan temperatur *steam* maka semakin rendah pula nilai entalpi.

Nilai entalpi total tertinggi didapatkan karena sesuai dengan penjelasan diatas, bahwa entalpi dipengaruhi oleh temperatur masuk dan tekanan masuk *steam* dikurangi dengan temperatur dan tekanan keluar *steam*. Pada entalpi tertinggi temperatur *steam* masuk sekitar 280.5°C dan tekanan masuk *steam* adalah 28.10 Bar sehingga menghasilkan entalpi 2939.8 kJ/kg. Sedangkan temperatur *steam* keluar adalah 134.65°C dan tekanan *steam* keluar yaitu 3.1 Bar, sehingga menghasilkan entalpi sebesar 2726.78 kJ/kg sehingga menghasilkan selisih 213.02 kJ/kg.

Nilai entalpi total terendah didapatkan karena sesuai penjelasan diatas bahwa entalpi dipengaruhi oleh temperatur masuk dan tekanan *steam* masuk dikurangi dengan temperatur dan tekanan *steam* keluar. Pada entalpi terendah, temperatur *steam* masuk sebesar 251°C dan tekanan *steam* masuk yaitu 28.63 Bar sehingga menghasilkan nilai entalpi sebesar 2860.48 kJ/kg. Sedangkan temperatur *steam* keluar adalah 133.55°C dan tekanan *steam* keluar 3 Bar. Sehingga menghasilkan entalpi sebesar 2725.3 kJ/kg sehingga menghasilkan selisih 135.18 kJ/kg. Tinggi rendahnya temperatur dan tekanan *steam* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu penggunaan bahan bakar pada *boiler*, efisiensi penggunaan panas pada bahan bakar pada *boiler* dan efisiensi turbin itu sendiri dalam menerima panas dari *steam* masuk.

#### 4.1.2 Entalpi Total Bulanan

Berikut merupakan grafik entalpi total bulanan selama tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021), selisih antara entalpi *steam* masuk dan entalpi *steam* keluar :



Gambar 4.2 Grafik entalpi total bulan Oktober 2021-Desember 2021

Dari data grafik diatas menunjukkan nilai rata-rata entalpi total bulanan (Oktober 2021-Desember 2021). Nilai entalpi diperoleh dari nilai temperatur *steam* dan nilai tekanan *steam* yang masuk dan keluar dari turbin. Entalpi total merupakan selisih antara entalpi masuk dan entalpi keluar. Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai entalpi total rata-rata setiap bulan (Oktober 2021-Desember 2021) terjadi penurunan nilai entalpi. Berikut adalah pembahasannya :

- a. Berdasarkan data grafik diatas menunjukkan nilai entalpi total bulanan tertinggi terjadi pada bulan Nopember dengan nilai 229.751 kJ/kg sedangkan nilai entalpi total bulanan terendah terjadi pada bulan Desember dengan nilai 179.078 kJ/kg. Nilai entalpi diperoleh dari temperatur *steam* dan tekanan *steam*, maka dari itu faktor-faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya nilai entalpi adalah temperatur dan tekanan *steam*, dengan kata lain semakin tinggi temperatur dan tekanan *steam* maka semakin tinggi nilai entalpi, sementara semakin rendah tekanan dan temperatur *steam* maka semakin rendah pula nilai entalpi.

Pada entalpi total bulanan tertinggi temperatur *steam* masuk sekitar 286.066°C dan tekanan masuk adalah 27.701 Bar sehingga mampu menghasilkan entalpi sebesar 2955.109 kJ/kg. Sedangkan temperatur *steam* keluar sebesar 133.927 Bar sehingga dapat menghasilkan entalpi sebesar 2725.357 kJ/kg. Sehingga dapat diperoleh selisih entalpi sebesar 229.751 kJ/kg.

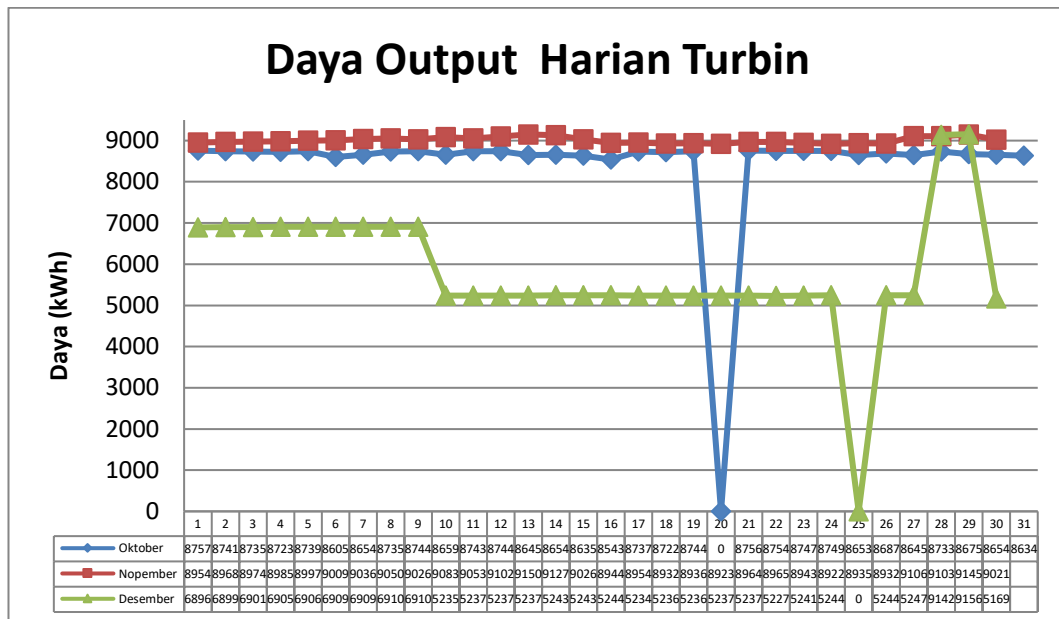
Pada entalpi total bulanan terendah temperatur *steam* masuk adalah sebesar 267.868°C dan tekanan masuk sebesar 27.959 Bar, sehingga menghasilkan nilai entalpi sebesar 2904.821 kJ/kg. Sedangkan temperatur keluar sekitar 133.891 °C dan tekanan keluar 3.03 Bar sehingga menghasilkan nilai entalpi sebesar 2725.742 kJ/kg sehingga menghasilkan selisih sebanyak 179.078 kJ/kg. Tinggi rendahnya temperatur dan tekanan *steam* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu penggunaan bahan bakar pada *boiler*, efisiensi penggunaan panas pada bahan bakar pada *boiler* dan efisiensi turbin itu sendiri dalam menerima panas dari *steam* masuk.

## 4.2 Analisa dan Pembahasan Daya Output Turbin

Berdasarkan data yang diperoleh dihasilkan besar daya output turbin harian dan bulanan dalam tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021). Berikut merupakan hasil dan pembahasan :

### 4.2.1 Daya Output Turbin Harian

Berikut merupakan grafik daya yang dihasilkan oleh turbin harian dalam tiga bulan (Oktober 2021- Desember 2021) :



Gambar 4.3 Grafik daya output harian turbin bulan Oktober 2021-Desember 2021

Dari data tabel dan dan grafik yang ada diatas menunjukkan besar daya yang dihasilkan turbin rata-rata harian pada bulan Oktober 2021-Desember 2021 mengalami kenaikan dan penurunan daya yang dihasilkan oleh turbin, berikut merupakan hasil dan pembahasannya :

- a. Pada bulan Oktober 2021, besar daya tertinggi yang dihasilkan oleh turbin adalah pada tanggal 1 Oktober 2021 sebesar 8756.5 kWh dan nilai daya terendah terjadi pada tanggal 16 Oktober 2021 sebesar 8543.4 kWh. Berdasarkan penjelasan dari grafik diatas perubahan daya yang dihasilkan oleh turbin uap sangat dipengaruhi oleh kinerja turbin uap itu sendiri dalam menerima energi potensial uap yang masuk kedalam turbin dan dipengaruhi oleh kondisi uap yang masuk kedalam turbin

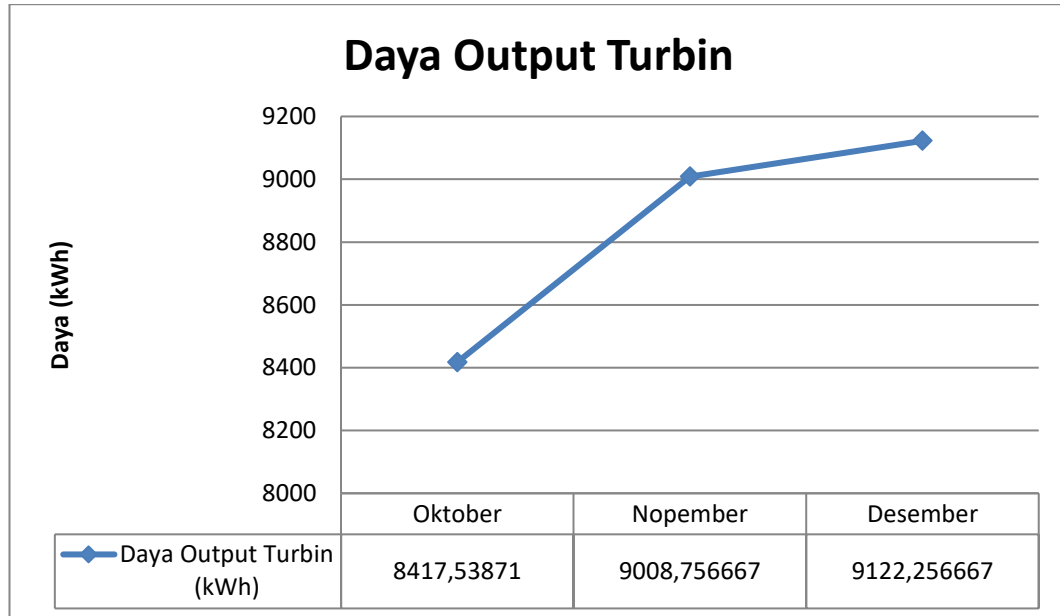


serta kondisi komponen-komponen turbin juga ikut mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin.

- b. Pada bulan Nopember 2021, besar daya tertinggi yang dihasilkan turbin terjadi pada tanggal 13 Nopember 2021 dengan daya yang diperoleh sebesar 9149.9 kWh dan nilai terendah diperoleh pada tanggal 24 Nopember 2021 dengan daya sebesar 8921.7kWh. Berdasarkan penjelasan dari grafik diatas perubahan daya yang dihasilkan oleh turbin uap sangat dipengaruhi oleh kinerja turbin uap itu sendiri dalam menerima energi potensial uap yang masuk kedalam turbin dan dipengaruhi oleh kondisi uap yang masuk kedalam turbin serta kondisi komponen-komponen turbin juga ikut mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin.
- c. Pada bulan Desember 2021, besar daya tertinggi yang dihasilkan turbin terjadi pada tanggal 29 Desember 2021 dengan daya yang diperoleh sebesar 9156.1 kWh dan nilai terendah diperoleh pada tanggal 30 Desember 2021 dengan daya sebesar 5169.2 kWh. Berdasarkan penjelasan dari grafik diatas perubahan daya yang dihasilkan oleh turbin uap sangat dipengaruhi oleh kinerja turbin uap itu sendiri dalam menerima energi potensial uap yang masuk kedalam turbin dan dipengaruhi oleh kondisi uap yang masuk kedalam turbin serta kondisi komponen-komponen turbin juga ikut mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin.

#### 4.2.2 Daya Output Turbin Bulanan

Berikut merupakan grafik daya yang dihasilkan turbin rata-rata setiap bulan selama tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021) :



Gambar 4.4 Grafik daya output turbin bulan Oktober 2021-Desember 2021

Dari data grafik diatas menunjukkan bahwa besar daya yang dihasilkan oleh turbin rata-rata selama tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021). Daya yang dihasilkan oleh turbin berasal dari energi potensial uap yang masuk kedalam turbin melalui *nozzle* yang kemudian menggerakkan sudu-sudu, kemudian dari energi kinetik tersebut dikonversi menjadi energi listrik.

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa telah terjadi kenaikan daya yang dihasilkan oleh turbin. Pada bulan Oktober 2021 turbin menghasilkan daya sebesar 8471.538 kWh , pada bulan Nopember 2021 sebesar 9008.756 kWh dan pada bulan Desember 2021 sebesar 9122.256 kWh. Maka dari itu :

- a. Jumlah daya ouput turbin tertinggi yang dihasilkan terjadi pada bulan Desember 2021 sebesar 9122.256 kWh. Sedangkan daya output terendah yang dihasilkan terjadi pada bulan Oktober 2021 dengan nilai 8417.53 kWh.

Dalam hal ini, tinggi rendahnya daya yang dihasilkan oleh turbin dipengaruhi oleh kinerja turbin uap itu sendiri dalam menerima energi

potensial steam yang masuk kedalam turbin, hal ini dipengaruhi oleh kondisi uap yang masuk kedalam turbin. Beberapa diantaranya adalah temperatur dan tekanan steam serta kondisi setiap komponen-komponen dalam turbin, kondisi *nozzle* yang tersumbat akibat *silica* yang mengakibatkan berkurangnya putaran turbin untuk memutar generator yang menghasilkan daya listrik . Jumlah beban yang harus dipenuhi akibat kebutuhan setiap saat juga selalu berubah.

### 4.3 Turbin *Heat Rate* (THR)

Setelah memperoleh nilai entalpi yang diperlukan untuk menghitung nilai turbin *heat rate* kemudian menggunakan rumus 2.5.

#### 4.3.1 Turbin *Heat Rate* Harian

Tabel 4.2 Data turbin *heat rate* tanggal 01 Oktober 2021

Tanggal	T Steam Masuk (°C)	P Steam Masuk (Bar)	T Steam Keluar (°C)	P Steam Keluar (Bar)	Laju Aliran Massa (kg.uap/jam)	H1 (kJ/kg)	H2 (kJ/kg)	H Total kJ/kg	Daya Turbin (kWh)	Turbine Heat Rate (Kcal/kWh)
01 Oktober 2021	296.6	28.74	133.55	3	41241.19	2986.16	2725.3	260.856	8756.5	1228,593253

Dari tabel 4.2 dapat diketahui laju aliran massa, H1, H2, dan *output* turbin yang kemudian dapat digunakan untuk menghitung nilai turbin *heat rate* dengan menggunakan rumus 2.5. Berikut penjelasannya :

Diketahui :

Laju aliran massa : 41241.19 kg.uap/jam

Entalpi uap masuk : 2986.16 kJ/kg

Entalpi uap keluar : 2725.30 kJ/kg

*Output* turbin : 8756.50 kWh

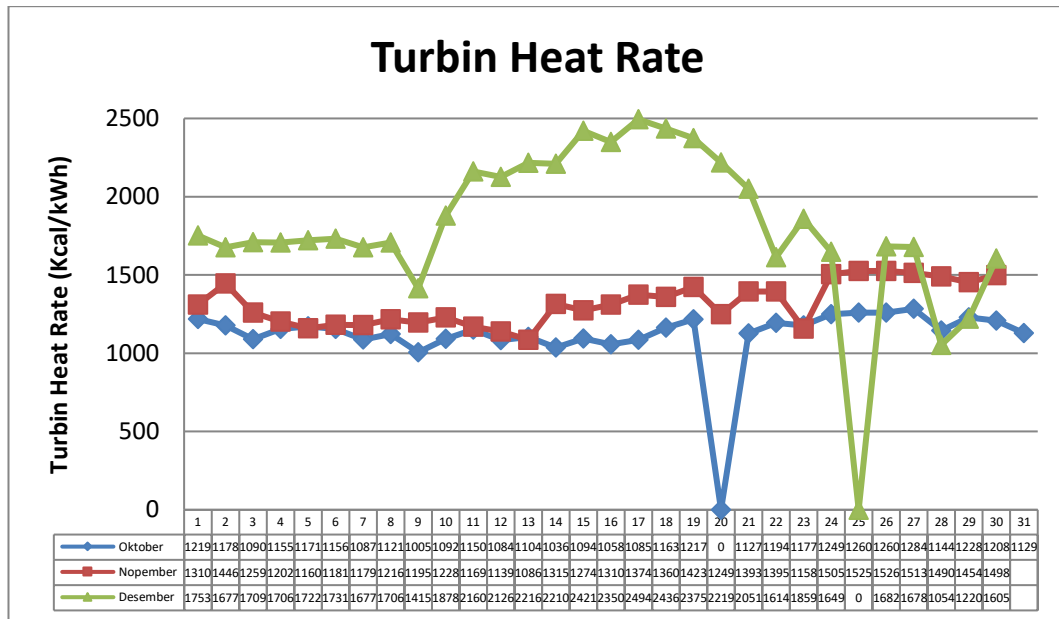
Ditanya : THR?

Maka dengan menggunakan rumus 2.5,

$$\begin{aligned}
 & \frac{m_1(H_1 - H_2)}{\text{output turbin}} \\
 &= \frac{41241.19(2986.16 - 2725.30)}{8756.50} \\
 &= 1228.593 \text{ Kcal/kWh}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan dari data yang diperoleh dan setelah melakukan perhitungan nilai turbin *heat rate* yang telah terlampir, dihasilkan nilai turbin *heat rate* harian dan bulanan dalam bulan Oktober 2021-Desember 2021 berikut adalah pembahasannya :

Berikut merupakan grafik harian selama tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021) :



Gambar 4.5 Grafik turbin *heat rate* harian bulan Oktober 2021-Desember 2021

Dari data dan grafik diatas menunjukkan bahwa nilai turbin *heat rate* yang dihasilkan oleh turbin harian selama tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021) terjadi kenaikan dan penurunan. Nilai turbin *heat rate* diperoleh dari perbandingan jumlah energi kalor yang masuk kedalam turbin dengan daya yang dihasilkan oleh turbin. Jumlah energi kalor yang diperoleh dari perkalian antara laju uap yang masuk kedalam turbin dengan nilai entalpi total yang dihasilkan. Berikut adalah pembahasannya :

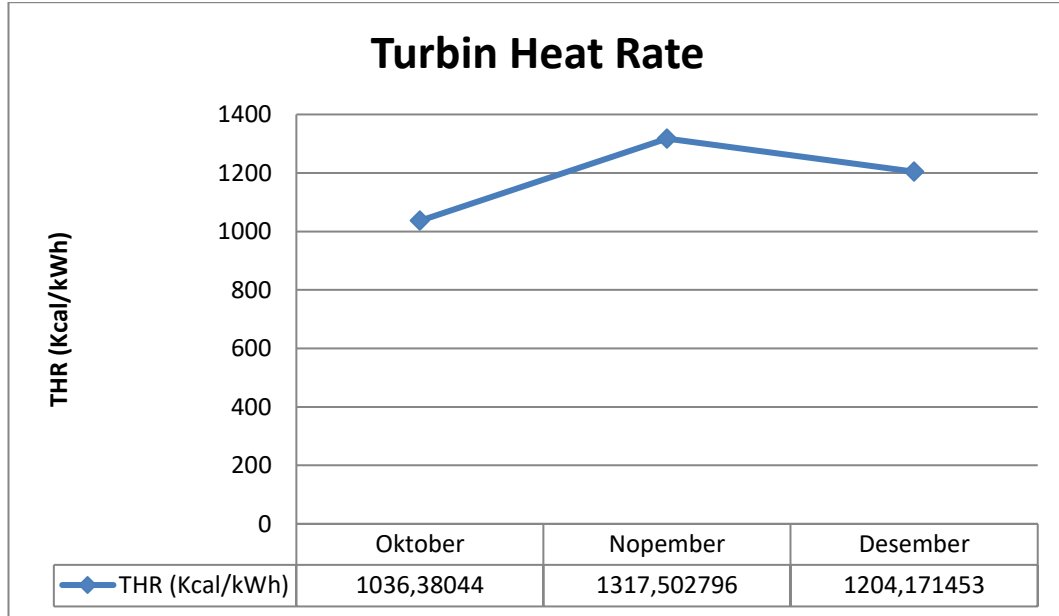
- a. Pada bulan Oktober 2021 diperoleh nilai turbin *heat rate* tertinggi sebesar 1283.744 Kcal/kWh terjadi pada tanggal 27 Oktober 2021, sedangkan nilai turbin *heat rate* terendah 1005.113 Kcal/kWh diperoleh pada tanggal 09 Oktober 2021. Berdasarkan grafik diatas, tinggi rendahnya nilai turbin *heat rate* dapat dipengaruhi oleh parameter-parameter untuk menentukan nilai turbin *heat rate*, yaitu perbandingan

energi total berupa laju aliran massa steam dan entalpi *steam* yang digunakan untuk menggerakkan turbin dengan energi listrik yang dihasilkan generator. Parameter yang digunakan tidak selalu konstan setiap waktu. Jelas bahwa nilai turbin *heat rate* akan selalu berubah dikarenakan parameter yang digunakan untuk mengukur nilai turbin *heat rate* akan selalu berubah setiap saat.

- b. Pada bulan Nopember 2021 diperoleh nilai turbin *heat rate* tertinggi adalah sebesar 1525.9 Kcal/kWh pada tanggal 26 Nopember 2021. Sedangkan nilai turbin *heat rate* terendah adalah 1086 Kcal/kWh yang diperoleh pada tanggal 13 Nopember 2021. Berdasarkan grafik diatas, tinggi rendahnya nilai turbin *heat rate* dapat dipengaruhi oleh parameter-parameter untuk menentukan nilai turbin *heat rate*, yaitu perbandingan energi total berupa laju aliran massa *steam* dan entalpi *steam* yang digunakan untuk menggerakkan turbin dengan energi listrik yang dihasilkan generator. Parameter yang digunakan tidak selalu konstan setiap waktu. Jelas bahwa nilai turbin *heat rate* akan selalu berubah dikarenakan parameter yang digunakan untuk mengukur nilai turbin *heat rate* akan selalu berubah setiap saat.
- c. Pada bulan Desember 2021 diperoleh nilai turbin *heat rate* tertinggi adalah sebesar 2494.113 Kcal/kWh pada tanggal 17 Desember 2021. Sedangkan nilai turbin *heat rate* terendah adalah 1053.786 Kcal/kWh yang diperoleh pada tanggal 28 Desember 2021. Berdasarkan grafik diatas, tinggi rendahnya nilai turbin *heat rate* dapat dipengaruhi oleh parameter-parameter untuk menentukan nilai turbin *heat rate*, yaitu perbandingan energi total berupa laju aliran massa *steam* dan entalpi *steam* yang digunakan untuk menggerakkan turbin dengan energi listrik yang dihasilkan generator. Parameter yang digunakan tidak selalu konstan setiap waktu. Jelas bahwa nilai turbin *heat rate* akan selalu berubah dikarenakan parameter yang digunakan untuk mengukur nilai turbin *heat rate* akan selalu berubah setiap saat.

### 4.3.2 Turbin *Heat Rate* Bulanan

Berikut merupakan grafik turbin *heat rate* rata-rata bulanan selama tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021) :



Gambar 4.6 Grafik turbin *heat rate* bulan Oktober 2021-Desember 2021

Dari data tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa nilai turbin *heat rate* yang dihasilkan oleh turbin pada rata-rata bulanan dalam tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021) terjadi kenaikan. Nilai turbin *heat rate* diperoleh dari perbandingan jumlah energi kalor yang masuk kedalam turbin dengan daya yang dihasilkan oleh turbin. Jumlah energi kalor diperoleh dari perkalian antara laju massa uap *steam* yang masuk kedalam turbin dengan nilai entalpi total yang dihasilkan. Berikut ini adalah pembahasannya :

- a. Nilai turbin *heat rate* tertinggi terjadi pada bulan Nopember 2021 sebesar 1317.502 Kcal/kWh. Berdasarkan penjelasan grafik diatas, tinggi dan rendahnya nilai turbin *heat rate* dipengaruhi oleh parameter-parameter untuk menentukan nilai turbin *heat rate*, yaitu perbandingan energi total berupa laju alira massa *steam* dan entalpi *steam* yang digunakan untuk menggerakkan turbin dengan energi listrik yang dihasilkan generator. Parameter yang digunakan tidak selalu konstan setiap waktu. Jelas bahwa nilai turbin *heat rate* akan selalu berubah

dikarenakan parameter yang digunakan untuk mengukur nilai turbin *heat rate* akan selalu berubah setiap saat.

#### 4.4 Analisa dan Pembahasan Efisiensi Turbin

Tabel 4.3 Data efisiensi turbin tanggal 01 Oktober 2021

Tanggal	T Steam Masuk (°c)	P Steam Masuk (Bar)	T Steam Keluar (°c)	P Steam Keluar (Bar)	Laju Aliran Massa kg.uap/jam	H1 kJ/kg	H2 kJ/kg	H Total kJ/kg	Daya Turbin kWh	Turbine Heat Rate Kcal/kWh	Efisiensi (%)
01 Oktober 2021	296.6	28.74	133.55	3	41241.19	2986.16	2725.3	260.856	8756.5	1228.593	69.99

Setelah dilakukan perhitungan nilai entalpi total, nilai turbin *heat rate* maka akan dilakukan perhitungan nilai efisiensi turbin dengan menggunakan rumus 2.7. Berikut adalah pembahasannya :

Diketahui :

Nilai kalori/kWh : 860

Turbin *heat rate* : 1228.593Kcal/kWh

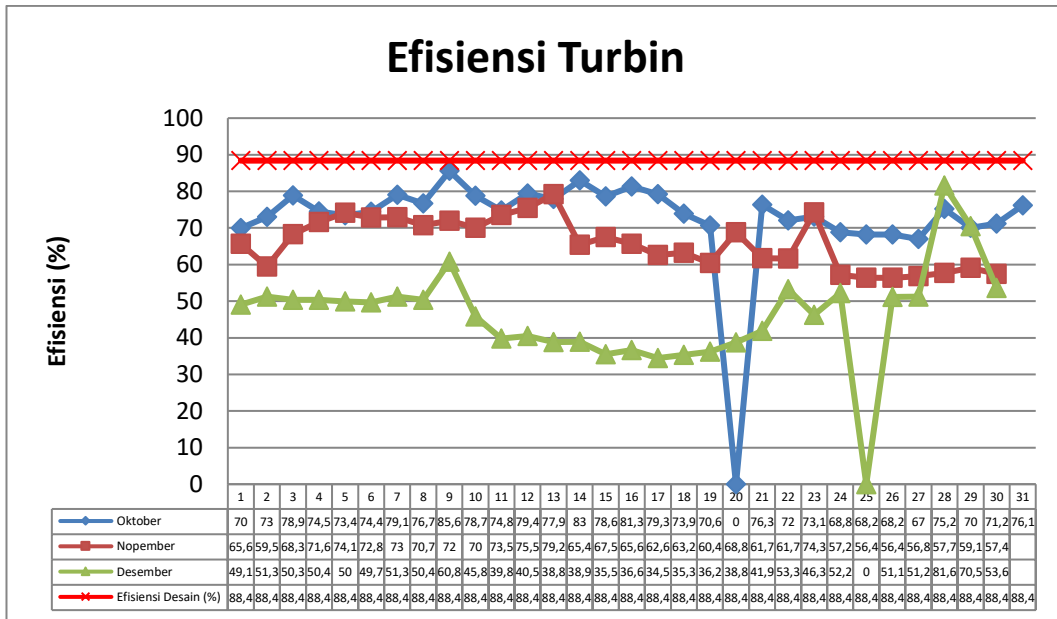
Ditanya :  $\eta$ Turbin?

Maka untuk menghitung nilai efisiensi turbin digunakan rumus 2.7

$$\begin{aligned} \eta_{\text{Turbin}} &= \frac{860}{\text{THR}} \\ &= \frac{860}{1228.593} \times 100\% \\ &= 69.99\% \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus 2.7 diperoleh nilai efisiensi turbin pada tanggal 01 Oktober 2021 sebesar 69.99 %. Perhitungan yang sama dilakukan untuk perhitungan data lainnya.

Berdasarkan dari data yang diperoleh dan setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi turbin yang telah dilampirkan, dihasilkan nilai efisiensi turbin harian dan bulanan selama tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021). Berikut ini adalah hasil dan pembahasannya :



Gambar 4.7 Grafik efisiensi turbin harian bulan Oktober 2021-Desember 2021

Dari data dan grafik yang ada diatas menunjukkan bahwa efisiensi turbin harian selama tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021) pada kondisi *design* efisiensi turbin sebesar 88.40%, sementara pada kondisi aktual nilai efisiensi turbin terjadi kenaikan dan penurunan yang berubah setiap waktu. Nilai efisiensi turbin diperoleh dari perbandingan antara nilai energi kalor dalam 1 kWh dengan jumlah nilai turbin *heat rate* yang dihasilkan. Berikut merupakan pembahasan berdasarkan grafik diatas :

- a. Pada bulan Oktober 2021, diperoleh nilai efisiensi tertinggi sebesar 85.56% pada tanggal 09 Oktober sedangkan nilai efisiensi turbin terendah terjadi pada tanggal 27 Oktober 2021 sebesar 66.99%. Penurunan efisiensi turbin pada kondisi desain dengan kondisi aktual dipengaruhi oleh energi *input* yang masuk kedalam turbin yaitu laju aliran massa dan entalpi *steam*. Semakin besar energi *input* yang masuk kedalam turbin maka kinerja turbin akan semakin baik, begitu pula sebaliknya.

Faktor lain penyebab naik dan turunnya efisiensi turbin dipengaruhi oleh nilai turbin *heat rate*, yaitu jumlah konsumsi kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh. Semakin



kecil nilai turbin *heat rate* maka akan semakin tinggi nilai efisiensi turbin, begitu pula sebaliknya. Semakin tinggi nilai turbin *heat rate*, semakin rendah efisiensi turbin.

Dalam hal ini, sesuai dengan penjelasan yang mempengaruhi nilai efisiensi diatas, nilai dari efisiensi tertinggi terjadi pada tanggal 09 Oktober 2021 disebabkan oleh nilai turbin *heat rate* cukup rendah yaitu sekitar 1005.112 Kcal/kWh dengan nilai laju aliran massa *steam* sebanyak 41130.54 kg.uap/jam, entalpi total sebesar 213.671 kJ/kg serta daya yang dihasilkan oleh turbin sebesar 8743.7 kWh.

Sehingga efisiensi yang dihasilkan sebesar 85.56%. Berdasarkan penjelasan diatas, penurunan dan kenaikan efisiensi turbin akan terjadi setiap waktunya karena nilai turbin *heat rate* akan selalu berubah setiap saat.

- b. Pada bulan Nopember 2021, diperoleh nilai efisiensi tertinggi sebesar 79.18% pada tanggal 13 Nopember sedangkan nilai efisiensi turbin terendah terjadi pada tanggal 26 Nopember 2021 sebesar 56.36%. Penurunan efisiensi turbin pada kondisi desain dengan kondisi aktual dipengaruhi oleh energi *input* yang masuk kedalam turbin yaitu laju aliran massa dan entalpi *steam*. Semakin besar energi *input* yang masuk kedalam turbin maka kinerja turbin akan semakin baik, begitu pula sebaliknya.

Faktor lain penyebab naik dan turunnya efisiensi turbin dipengaruhi oleh nilai turbin *heat rate*, yaitu jumlah konsumsi kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh. Semakin kecil nilai turbin *heat rate* maka akan semakin tinggi nilai efisiensi turbin, begitu pula sebaliknya. Semakin tinggi nilai turbin *heat rate*, semakin rendah efisiensi turbin.

Dalam hal ini, sesuai dengan penjelasan yang mempengaruhi nilai efisiensi diatas, nilai dari efisiensi tertinggi terjadi pada tanggal 13 Nopember 2021 disebabkan oleh nilai turbin *heat rate* cukup rendah

yaitu sekitar 1086.032 Kcal/kWh dengan nilai laju aliran massa *steam* sebanyak 51658.8 kg.uap/jam, entalpi total sebesar 192.36 kJ/kg serta daya yang dihasilkan oleh turbin sebesar 9149.9 kWh.

Sehingga efisiensi yang dihasilkan sebesar 79.18%. Berdasarkan penjelasan diatas, penurunan dan kenaikan efisiensi turbin akan terjadi setiap waktunya karena nilai turbin *heat rate* akan selalu berubah setiap saat.

- c. Pada bulan Desember 2021, diperoleh nilai efisiensi tertinggi sebesar 81.61% pada tanggal 28 Desember sedangkan nilai efisiensi turbin terendah terjadi pada tanggal 17 Desember 2021 sebesar 34.48%. Penurunan efisiensi turbin pada kondisi desain dengan kondisi aktual dipengaruhi oleh energi *input* yang masuk kedalam turbin yaitu laju aliran massa dan entalpi *steam*. Semakin besar energi *input* yang masuk kedalam turbin maka kinerja turbin akan semakin baik, begitu pula sebaliknya.

Faktor lain penyebab naik dan turunnya efisiensi turbin dipengaruhi oleh nilai turbin *heat rate*, yaitu jumlah konsumsi kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh. Semakin kecil nilai turbin *heat rate* maka akan semakin tinggi nilai efisiensi turbin, begitu pula sebaliknya. Semakin tinggi nilai turbin *heat rate*, semakin rendah efisiensi turbin.

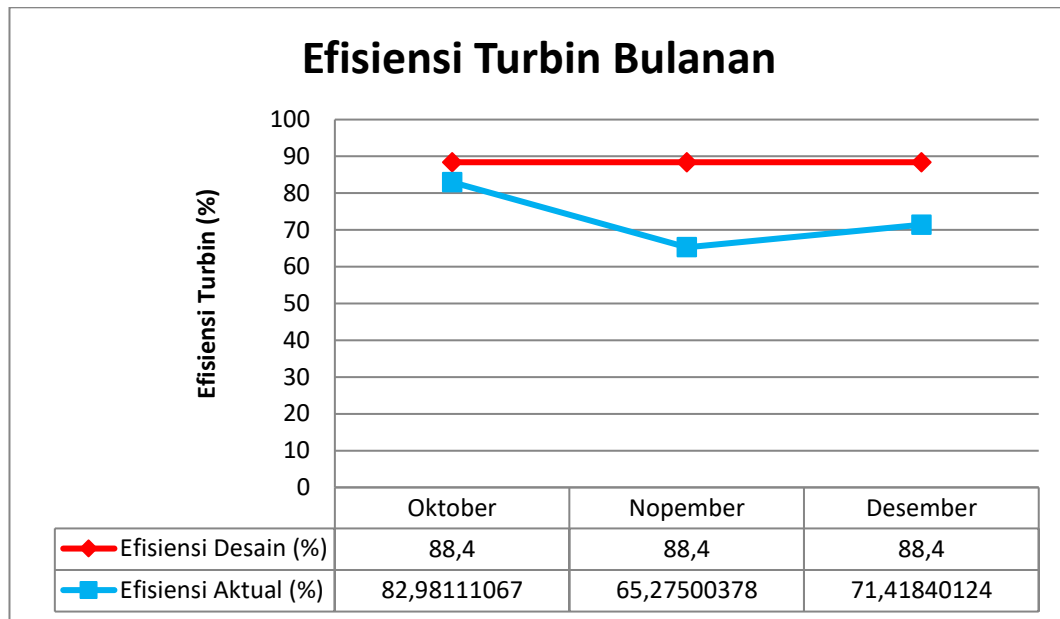
Dalam hal ini, sesuai dengan penjelasan yang mempengaruhi nilai efisiensi diatas, nilai dari efisiensi tertinggi terjadi pada tanggal 28 Desember 2021 disebabkan oleh nilai turbin *heat rate* cukup rendah yaitu sekitar 1053.785 Kcal/kWh dengan nilai laju aliran massa *steam* sebanyak 61279.9 kg.uap/jam, entalpi total sebesar 157.21 kJ/kg serta daya yang dihasilkan oleh turbin sebesar 9142.1 kWh.

Sehingga efisiensi yang dihasilkan sebesar 81.61%. Berdasarkan penjelasan diatas, penurunan dan kenaikan efisiensi turbin akan terjadi

setiap waktunya karena nilai turbin *heat rate* akan selalu berubah setiap saat.

#### 4.4.1 Efisiensi Turbin Bulanan

Berikut merupakan grafik efisiensi turbin rata-rata bulanan selama tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021) :



Gambar 4.8 Grafik efisiensi turbin bulan Oktober 2021-Desember 2021

Dari data yang telah terlampir dan grafik yang ada diatas menunjukkan bahwa efisiensi turbin selama tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021) mengalami penurunan. Pada kondisi desain diperoleh nilai efisiensi sebesar 88.40%. Nilai efisiensi turbin diperoleh dari perbandingan antara nilai energi kalor dalam 1 kWh dengan jumlah nilai turbin *heat rate* yang dihasilkan. Berikut ini merupakan pembahasan berdasarkan grafik diatas :

- a. Nilai efisiensi turbin tertinggi diperoleh pada bulan Oktober 2021 sebesar 82.98%, sedangkan nilai efisiensi turbin terendah terjadi pada bulan Nopember 2021 sebesar 65.27%. Penurunan efisiensi turbin pada kondisi desain dengan kondisi aktual dilapangan dipengaruhi oleh energi *input* yang masuk kedalam turbin yaitu laju aliran massa dan entalpi *steam*. Semakin besar energi *input* yang masuk kedalam turbin maka kinerja turbin akan semakin baik, begitupun sebaliknya.

Faktor lain penyebab naik dan turunnya efisiensi turbin dipengaruhi oleh nilai turbin *heat rate*, yaitu jumlah konsumsi kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh. Semakin kecil nilai turbin *heat rate* maka akan semakin tinggi nilai efisiensi turbin, begitu pula sebaliknya. Semakin tinggi nilai turbin *heat rate*, semakin rendah efisiensi turbin.

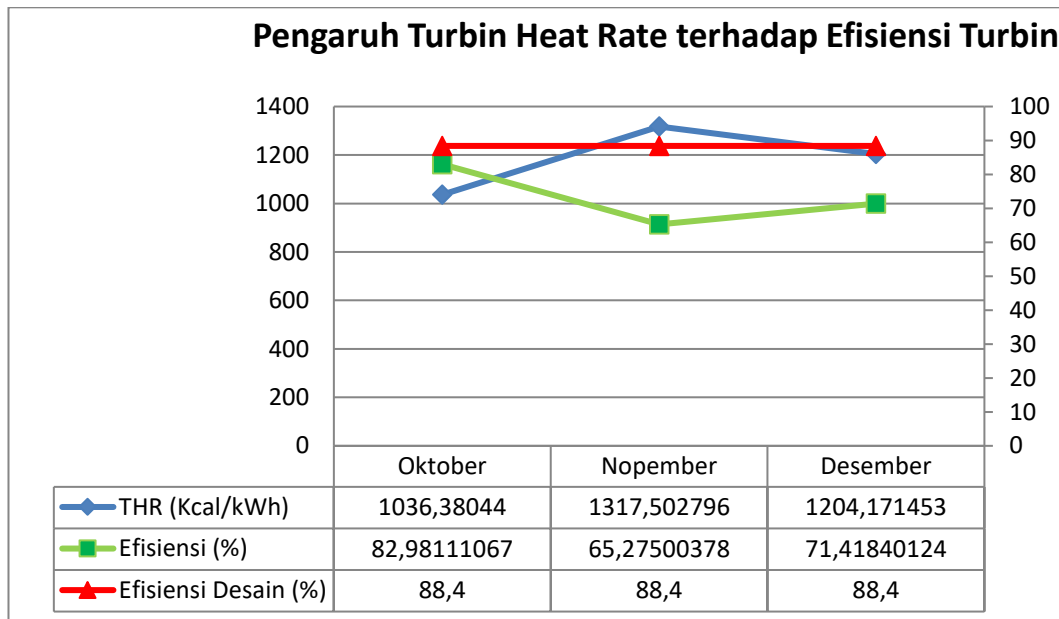
Dalam hal ini, sesuai dengan penjelasan yang mempengaruhi nilai efisiensi diatas, nilai dari efisiensi tertinggi terjadi pada bulan Oktober 2021 disebabkan oleh nilai turbin *heat rate* yang cukup rendah yaitu sekitar 1036.38044 Kcal/kWh dengan nilai laju aliran massa *steam* sebanyak 39817.82548 kg.uap/jam, entalpi total sebesar 219.0921369 kJ/kg serta daya yang dihasilkan oleh turbin sebesar 8417.53871 kWh.

Sehingga efisiensi yang dihasilkan sebesar 82.98%. Berdasarkan penjelasan diatas, penurunan dan kenaikan efisiensi turbin akan terjadi setiap waktunya karena nilai turbin *heat rate* akan selalu berubah setiap saat.

#### 4.5 Analisa Pembahasan Korelasi

Analisa ini dilakukan dengan pengamatan secara langsung dan kemudian dilakukan perbandingan antara variabel. Berikut ini merupakan penjelasan dan pembahasannya :

##### 4.5.1 Analisa Pengaruh Turbin *Heat Rate* Terhadap Efisiensi Turbin



Gambar 4.10 Grafik korelasi antara turbin *heat rate* terhadap efisiensi turbin

Berdasarkan pada data dan grafik diatas, menunjukkan nilai dari turbin *heat rate* dan efisiensi turbin selama tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021). Dari data tersebut menunjukkan adanya perubahan nilai dari masing-masing turbin *heat rate* dan efisiensi turbin setiap waktunya. Sesuai dengan formula untuk menentukan nilai turbin *heat rate*.

Parameter yang mempengaruhi nilai turbin *heat rate* adalah laju aliran massa *steam* yang masuk kedalam turbin, entalpi total yang berdasarkan selisih antara temperatur dan tekanan *steam* yang masuk kedalam turbin dengan tekanan dan temperatur *steam* yang keluar dari turbin serta kebutuhan daya setiap harinya.

Sementara untuk pengaruh perubahan efisiensi turbin, sesuai dengan formula untuk menentukan nilai efisiensi turbin, parameter yang mempengaruhi adalah jumlah energi kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1

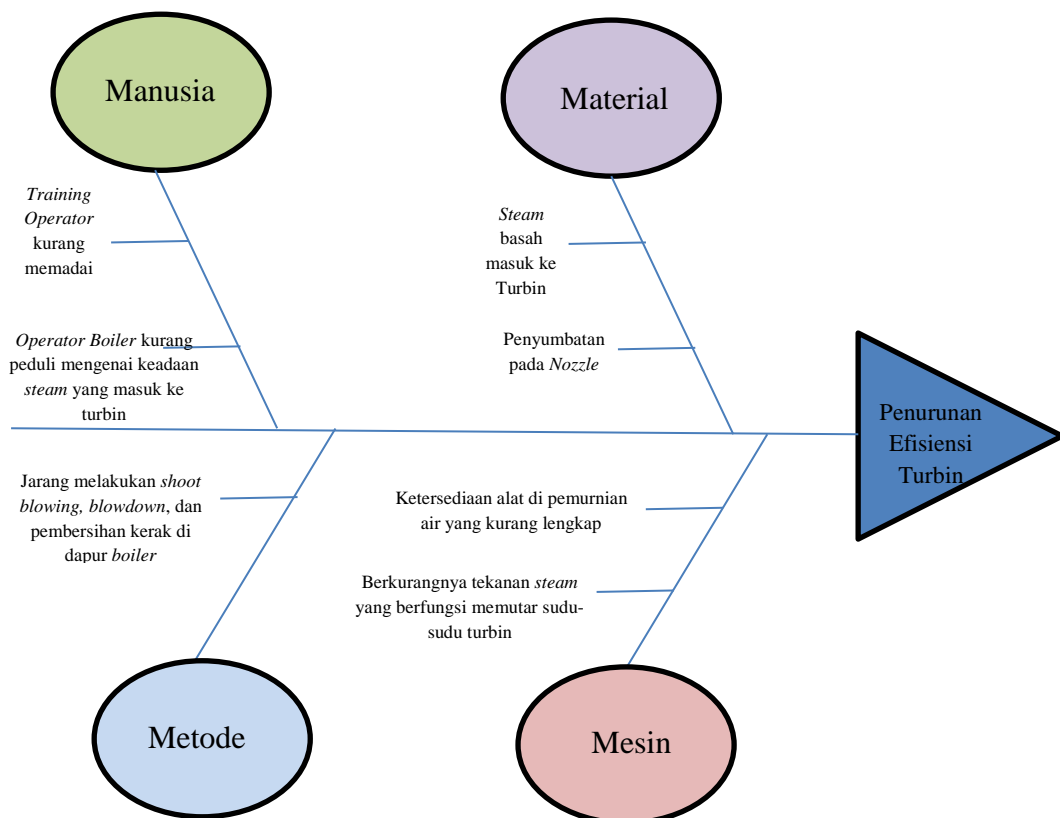
kWh. Penurunan efisiensi turbin juga dipengaruhi oleh kerugian entalpi dan kehilangan tekanan uap yang masuk kedalam turbin. Hal ini terjadi ketika *steam* melewati *nozzle* yang mengarah ke sudu-sudu turbin.

Faktor-faktor tersebut akan mempengaruhi perubahan nilai turbin *heat rate* dan efisiensi turbin yang dihasilkan. Pada bulan Oktober 2021 menunjukkan nilai turbin *heat rate* sebesar 1036.380 Kcal/kWh dengan nilai efisiensi sebesar 82.98%. Pada bulan Nopember 2021 nilai turbin *heat rate* adalah 1317.502 Kcal/kWh dan nilai efisiensi turbin yang diperoleh sebesar 65.27%. Pada bulan Desember 2021 nilai turbin *heat rate* yang dihasilkan adalah 1204.171 Kcal/kWh dan nilai efisiensi turbin adalah sebesar 71.41%.

Berdasarkan pembahasan diatas hubungan antara nilai turbin *heat rate* dengan efisiensi turbin adalah, semakin rendah nilai turbin *heat rate* maka akan semakin tinggi nilai efisiensi turbin. Begitu pula sebaliknya, semakin tinggi nilai turbin *heat rate*, maka akan semakin rendah nilai efisiensi turbin yang dihasilkan.

#### 4.6 Alternatif Solusi Menurunnya Efisiensi Turbin

Berdasarkan dari hasil penelitian ini, adapun masalah yang ditemukan adalah menurunnya efisiensi aktual turbin uap untuk menghasilkan energi listrik yang sudah tidak lagi sesuai dengan kondisi desain. Dalam hal ini, akan dilakukan analisa sebab akibat dengan menggunakan diagram *fishbone* dan upaya penanggulangannya. Berikut adalah penjelasan dan pembahasannya :



Gambar 4.11 Diagram *fishbone* penyebab penurunan efisiensi turbin uap

Berdasarkan dari diagram *fishbone* diatas, menunjukkan ada beberapa faktor yang mengakibatkan terjadinya penurunan efisiensi turbin uap yaitu material, manusia mesin dan metodenya. Berikut adalah upaya penanggulangan dari penyebab masalah diatas berdasarkan faktor-faktor penyebab utama diatas :

1. Material

Dalam hal ini material merupakan penyebab utama dalam masalah ini, berdasarkan analisa yang dilakukan, menurunnya efisiensi turbin uap diakibatkan karena *steam* yang masuk kedalam turbin adalah *steam* basah.

*Steam* basah akan sangat mempengaruhi nilai entalpi yang dihasilkan karena pada *steam* basah akan mempengaruhi temperatur dan akan mempengaruhi kinerja turbin. *Steam* basah juga akan menimbulkan *silica* yang akan menyebabkan penyumbatan pada *nozzle* turbin yang akan mengurangi tekanan *steam* dan menimbulkan penurunan daya *output* turbin.

Adapun upaya penanggulangan yang dapat dilakukan adalah :

- a. Pengaturan *shoot blowing*, *blow down* dan pembersihan abu sisa pembakaran di *furnance boiler* harus ditingkatkan.
- b. Mengontrol kondisi level air pada gelas penduga di *boiler* agar tetap pada kondisi normal.

## 2. Mesin

Dalam hal ini mesin merupakan penyebab utama dalam masalah ini, berdasarkan analisa yang dilakukan, menurunnya efisiensi turbin uap diakibatkan karena ketersediaan alat pada pemurnian air yang kurang maksimal, hal ini mengakibatkan kualitas air umpan *boiler* tidak sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.

Adapun upaya penanggulangan yang dapat dilakukan adalah :

- a. Memaksimalkan proses pemurnian air umpan dengan menggunakan dearator.

## 3. Metode

Dalam hal ini metode merupakan salah satu penyebab utama dalam masalah ini, berdasarkan analisa yang dilakukan menurunnya efisiensi turbin uap diakibatkan karena kurangnya tenaga ahli dalam proses, sehingga metode Standar Operasional Prosedur (SOP) tidak terlaksanakan dengan baik.

Adapun upaya penanggulangan yang dapat dilakukan adalah :

- a. Mengevaluasi kinerja karyawan.
- b. Rutin melakukan pemeliharaan dan perawatan alat.

## 4. Manusia

Dalam hal ini manusia atau Sumber Daya Manusia (SDM) merupakan salah satu penyebab utama dalam masalah ini. Berdasarkan analisa yang



dilakukan, menurunnya efisiensi turbin uap disebabkan karena kurangnya *training* operator, sehingga operator kurang memahami Standar Operasional Prosedur (SOP) mengenai masalah pengoperasian mesin-mesin yang ada.

Adapun upaya penanggulangan yang dapat dilakukan adalah :

- a. Memberikan *training* atau pelatihan kepada operator mengenai sistem pembangkit tenaga.
- b. Memberikan bentuk apresiasi atau *reward* kepada operator atau karyawan yang memiliki kinerja sangat baik dan mampu membagikan pengaruh yang baik bagi karyawan yang lainnya.

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa yang dilakukan dapat diambil kesimpulan mengenai hubungan antara turbin *heat rate* terhadap efisiensi yang dihasilkan turbin uap selama tiga bulan (Oktober 2021-Desember 2021) adalah sebagai berikut :

1. Nilai turbin *heat rate* pada bulan Oktober 2021 adalah 1036.380 Kcal/kWh, pada bulan Nopember 2018 adalah 1317.502 Kcal/kWh dan pada bulan Desember 2021 adalah 1204.171 Kcal/kWh. Dengan begitu maka nilai turbin *heat rate* terendah terjadi pada bulan Oktober 2021 dengan nilai 1036.380 Kcal/kWh. Sedangkan nilai turbin *heat rate* tertinggi terjai pada bulan Nopeember 2021 dengan nilai 1317.502 Kcal/kWh.
2. Nilai efisiensi turbin pada bulan Oktober 2021 adalah 82.98%, pada bulan Nopember 2021 adalah 65.27% dan pada bulan Desember 2021 adalah 71.41%.
3. Dalam hal ini tinggi rendahnya nilai efisiensi turbin dipengaruhi oleh nilai turbin *heat rate*. Turbin *heat rate* berbanding terbalik dengan efisiensi turbin, yang artinya semakin rendah nilai turbin *heat rate* maka nilai efisiensi turbin akan semakin baik. Dimana nilai turbin *heat rate* terendah adalah 1036.380 Kcal/kWh dengan efisiensi turbin 82.98% dan nilai turbin *heat rate* tertinggi adalah 1317.502 Kcal/kWh dengan efisiensi 65.27%.

## 5.2 Saran

Penelitian yang dilakukan terhadap hubungan antara nilai turbin *heat rate* terhadap efisiensi turbin pada sistem pembangkit tenaga PKS memberikan beberapa yang dapat dilanjutkan, yaitu :

1. Diharapkan peneliti selanjutnya dapat menganalisa konsumsi panas atau energi berdasarkan *Gross Plant Heat Rate* (GPHR) yang merupakan laju *heat* yang masuk kedalam siklus uap.
2. Meningkatkan pengawasan nilai turbin *heat rate* secara rutin sehingga konsumsi energi panas dari bahan bakar dapat ditekan sehingga performa turbin dapat dipertahankan.
3. Perusahaan diharapkan menerapkan *preventive maintenance* sehingga kondisi dari sistem *power plant* terjaga nilai efisiensi dan kinerjanya menjadi lebih optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- 1, P. (2007). *Diagram Alir Proses Pengolahan Kelapa Sawit*. Medan: PTPN.
- 6, A. P. (2018, 05 12). *Steam Turbine Performance Test Code*. Retrieved 05 15, 2022, from [Asme/steam-turbin-code.com](http://Asme/steam-turbin-code.com).
- Adelarasakti. (2013). *Tabel Sifat-Sifat Termodinamika*.
- Alim, M. S. (2019). Prediksi Kenaikan Heat Rate Turbin Uap pada Pembangkit Listrik Berkapasitas 660 MW. *J. Ilm. Momentum*.
- El-Wakil, M. (2015). *Instalasi Pembangkit Daya*. Jakarta: Erlangga.
- Febriansyah, Y. R. (2018). Analisis Termodinamika pada PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Terhadap Pembebanan Operasi di PT. X. *Jur. Tek. Mesin, Inst. Sains Teknol. AKPRIND Yogyakarta*.
- Gunardi, D. (2016). *Pengoperasian Turbin Uap*.
- Gunes, A. S. (2017). Performance Analysis of a Steam Turbine Power Plant at Part Load Conditions. *J. Therm, Eng., Vol.3, no. 2*, 1121-1128.
- H. Abbas, J. J. (2019). Analisa Pembangkit Tenaga Listrik dengan Tenaga Uap di PLTU. *ILTEK J. Teknol.*
- Harahap, I. (2016). *Analisa Pengaruh Daya yang Dihasilkan Terhadap Net Plant Heat Rate di Sistem Pembangkit Tenaga Pabrik Kelapa Sawit*. Medan: STIP-AP.
- Ilham, M. (2014). Interpolasi. *Program Studi Fisika Institut Teknologi Bandung*.
- Jamaludin & Kurniawan, I. (2015). Analisis Perhitungan Daya Turbin yang Dihasilkan dan Efisiensi Turbin Uap pada Unit 1 dan Unit 2 di PT. Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar. 1-8.
- Junior, A. C. (1989). *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*. Jakarta: Erlangga.
- Marsudi, D. (2011). *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Muin, S. (1993). *Pesawat-Pesawat Konversi Energi (Turbin Uap)*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Mursadin, R. A. (2016). Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PLTU PT. INDOCEMENT P-12 Tarjun. *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*
- Naibaho, P. (1990). *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. Medan: PPKS.

- Pahan, I. (2008). *Panduan Lengkap Kelapa Sawit Penebar Swadaya*. Jakarta: Wikipedia Indonesia.
- Potter, C. M. (2011). *Termodinamika Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Pudjanarsa, A. &. (2007). *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: Andi.
- Romadhon, E. Y. (2017). Analisa efisiensi Isentropik dan Energy Destruction pada Turbin Uap Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap. *Rotasi*, 134-138.
- S. Dykas, M. M. (2015). Experimental Study of Condensing Steam Flow In Nozzles and Linear Blade Cascade. *Int. J. Heat Mass Transfer*.
- Satiti, S. (2015). Analisis Performa PLTU Versus Variasi Beban pada Turbin Uap Menggunakan Software Cycle Tempo.
- Shlyakhin, P. (1990). *Turbin Uap*. Jakarta: Erlangga.
- Sinaga, F. A. (2015). *Analisa Performansi Turbin Uap Kapasitas 800 KW dengan Tekanan 20 Bar dan Putaran 5000 RPM di Pabrik Kelapa Sawit*. Medan: Politeknik Negeri Medan.
- Sugiantoro, B. (2004). Metode Analisis Energi Perhitungan Metode Direct and In Direct (Heat Rate/Tara Kalor) Bahan Bakar Batu Bara dan Pengaruhnya Pada Performance Sistem Uap. 2-7.
- Supriyo, S. a. (2015). Analisa Heat Rate pada Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PLTU Tanjung Jati B Unit 3. *Tek. Energi*.
- T. M. Anggraini, A. S. (2019). Perhitungan Asr dan Efisiensi Internal Steam Turbine (Back Pressure) . *J. Chemurg*.
- Tanuma, T. (2016). *Advances In Steam Turbines for Modern Power Plants*.
- USU, R. (2018). *Bab II Tinjauan Pustaka 2.1 Pengertian Ketel Uap*. Medan: USU.
- Yudisaputro, H. (2010). Turbin Heat Rate (THR) Batu Bara.
- Yusuf, M. S. (2014). Analisa Performa Steam Turbine Item 61-101-JT Pada Bagian Ammonia-II di PT. Pupuk Iskandar Muda. *Mesin Sains Terapan*, 26-33.



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

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2017  
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631000  
<http://fatek.umsu.ac.id> [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id) [f/umsuMEDAN](#) [i/umsuMEDAN](#) [t/umsuMEDAN](#) [u/umsuMEDAN](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

**Nomor : 2251/IL3AU/UMSU-07/F/2021**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 20 Desember 2021 dengan ini Menetapkan :

Nama : FRANS FADILLAH PRASOJO  
Npm : 1807230086  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Semester : VII (TUJUH)  
Judul Tugas Akhir : ANALISA PENGARUH TURBIN HEAT RATE TERHADAP EFISIENSI  
TURBIN DI PKS KAPASITAS 40 TON/JAM

Pembimbing : MUNAWAR ALFANSURY 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 Mesin
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, 16 Jumadil Awwal 1443 H

20 Desember 2021 M

Dekan



Munawar Alfansury Siregar, ST, MT

NIDN: 0101017202

**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2021 – 2022**








Peserta seminar

Nama : Frans Fadillah Prasojo

NPM : 1807230086

Judul Tugas Akhir : Analisa Pengaruh Turbin Heat Rate Terhadap Efisiensi Turbin Di PKS Kapasitas 40 Ton/Jam

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Munawar Alfansury Siregar, ST, MT : .....	.....
Pemanding – I : Chandra A Siregar, ST, MT : .....	.....
Pemanding – II : Sudirman Lubis, ST, MT : .....	.....

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1807220111	Fauzi Sidiq Wahyudi	
2	1807230090	MUTANELO MACHINU	
3	1807230013	IRHAM ROSYADI	
4	1807230023	FRANS FADILLAH PRASOJO	
5	1807230155	ABUNG ARIFANA	
6	1807230138	Bahagi Azur	
7	1807230142	Yusuf Lubis	
8			
9			
10			

Medan, 15 Shafar 1444 H  
12 September 2022 M



Prodi. T. Mesin

Chandra A Siregar, ST, MT

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

---

Nama : Frans Fadillah Prasajo  
NPM : 1807230086  
Judul Tugas Akhir : Analisa Pengaruh Turbin Heat Rate Terhadap Efisiensi Turbin Di PKS  
Kapasitas 40 Ton/Jam

Dosen Pembanding – I : Chandra A Siregar, ST, MT  
Dosen Pembanding – II : Sudirman Lubis, ST, MT  
Dosen Pembimbing – I : Munawar Alfansury Siregar, ST, MT

**KEPUTUSAN**

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

*Lihat buku tugas akhir*

.....

.....

.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
- Perbaikan :
- .....
- .....
- .....
- .....

Medan, 15 Shafar 1444 H  
12 September 2022 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- I

Chandra A Siregar, ST, MT



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

---

Nama : Frans Fadillah Prasojo  
NPM : 1807230086  
Judul Tugas Akhir : Analisa Pengaruh Turbin Heat Rate Terhadap Efisiensi Turbin Di PKS  
Kapasitas 40 Ton/Jam

Dosen Pembanding – I : Chandra A Siregar, ST, MT  
Dosen Pembanding – II : Sudirman Lubis, ST, MT  
Dosen Pembimbing – I : Munawar Alfansury Siregar, ST, MT

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :  
*kembali diagram dan pendan.*  
*dan gambar.*
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

Medan 15 Shafar 1444 H  
12 September 2022 M



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- II

Sudirman Lubis, ST, MT



# UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

## FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019  
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631603  
http://fatek.umsu.ac.id    fatek@umsu.ac.id    umsumedan    umsumedan    umsumedan    umsumedan

Nomor : 870/ILB-AU/UMSU-07 / B / 2022  
Lamp : -  
Hal : Pengambilan Data

Medan, 20 Dzulqa'dah 1443 H  
20 Juni 2022 M

Kepada Yth. : Bapak/Ibu Pimpinan  
PT. Umbul Mas Wisesa Palm Oil Mill

Di :  
Tempat

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Dengan hormat,  
Kami memohon kesedian Bapak untuk menerima dan memberikan izin bagi Mahasiswa kami yang akan melakukan Pengambilan data di PT. Umbul Mas Wisesa Palm Oil Mill untuk penulisan Tugas Akhir, guna menyelesaikan program pendidikan Strata Satu (S-1) di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara .

Adapun nama-nama mahasiswa kami tersebut adalah :

Nama : Frans Fadillah Prasojo  
Npm : 1807230086  
Jurusan : Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir : Analisa Pengaruh Turbin Heat Rate Terhadap Efisiensi Turbin Di PKS Kapasitas 40 Ton/Jam

Pembimbing I: Munawar Alfansury Siregar, ST, MT

Data yang di cari : 1. Longsheet Harian Mandor  
2. Data Sekunder (Oktober 2021-Desember 2021)  
3. Dokumentasi

Demikianlah harapan kami atas bantuan dan kerjasama yang bapak/ibu berikan kami ucapkan terimakasih  
Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.





No : 042/UMWM - EKS/VI/2022

UMW-POM, 20 April 2022

Kepada Yth :

**Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T**  
**Dekan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara**  
**Fakultas Teknik.**

Di -

**Medan**

**Hal : Izin Melakukan Penelitian Tugas Akhir**  
**PT. Umbul Mas Wisesa - Palm Oil Mill**

Dengan hormat,

Bersama ini kami sampaikan kepada Bapak Dekan bahwa nama berikut di bawah ini :

- Nama : Frans Fadillah Prasajo
- Npm : 1807230086
- Jurusan : Teknik Mesin
- Judul Tugas Akhir : Analisa Pengaruh Turbine Heat Rate terhadap Efisiensi Turbine di PKS Kapasitas 40 Ton/jam

Benar dan telah selesai melakukan penelitian Tugas Akhir dan pengambilan data data di PT. Umbul Mas Wisesa - Palm Oil Mill dan data yang dibutuhkan :

1. Logsheets Harian Mandor
2. Data sekunder (Oktober 2021 - Desember 2021)
3. Dokumentasi

yang di perlukan untuk penulisan Tugas Akhir dari tanggal 20 April 2022 s/d 28 April 2022 guna menyelesaikan program pendidikan Strata Satu (S-1) di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Demikian kami sampaikan dan terima kasih.

Hormat kami,

PT. Umbul Mas Wisesa  
Umbul Mas Wisesa POM

**Agung Laksono**  
Mill Head Assistant

## LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

**Analisa Pengaruh Turbin *Heat Rate* Terhadap Efisiensi Turbin di PKS Kapasitas 40 Ton/Jam**

Nama : Frans Fadillah Prasojo  
NPM : 1807230086

Dosen Pembimbing : Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.)	Sabtu/05-02-22	Melanjutkan Bab II dan III, melengkapi jurnal dan referensi	A
2.)	Sabtu/12-03-22	Perbaikan latar belakang dan ruang lingkup penelitian	A
3.)	Kamis/17-03-22	Perbaikan ukuran equation dan merapikan paragraf	A
4.)	Selasa/22-03-22	Acc di seminar	A
5.)		Lanjutan perbaikan dgn perbandingan dan lay out Seminar hasil	A

**Table A.II.1(SI).** Saturated Water and Dry Saturated Steam Properties,  $f(P)$  (continued)

(kPa)	(C)	(kJ/kg)			(kJ/kg·K)		
$P$	$T$	$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$	$s_f$	$s_{fg}$	$s_g$
0.611	0.01	0.00	2501.30	2501.30	0	9.1562	9.1562
1.0	6.98	29.29	2484.89	2514.18	0.1059	8.8697	8.9756
1.5	13.03	54.70	2470.59	2525.30	0.1956	8.6322	8.8278
2.0	17.50	73.47	2460.02	2533.49	0.2607	8.4629	8.7236
2.5	21.08	88.47	2451.56	2540.03	0.3120	8.3311	8.6431
3.0	24.08	101.03	2444.47	2545.50	0.3545	8.2231	8.5775
4.0	28.96	121.44	2432.93	2554.37	0.4226	8.0520	8.4746
5.0	32.88	137.79	2423.66	2561.45	0.4763	7.9187	8.3950
7.5	40.29	168.77	2406.02	2574.79	0.5763	7.6751	8.2514
10	45.81	191.81	2392.82	2584.63	0.6492	7.5010	8.3501
15	53.97	225.91	2373.14	2599.06	0.7548	7.2536	8.0084
20	60.06	251.38	2358.33	2609.70	0.8319	7.0766	7.9085
25	64.97	271.90	2346.29	2618.19	0.8930	6.9383	7.8313
30	69.10	289.21	2336.07	2625.28	0.9439	6.8247	7.7686
40	75.87	317.55	2319.19	2636.74	1.0258	6.6441	7.6700
50	81.33	340.47	2305.40	2645.87	1.0910	6.5029	7.5939
75	91.77	384.36	2278.59	2662.96	1.2129	6.2434	7.4563
100	99.62	417.44	2258.02	2675.46	1.3025	6.0568	7.3593
125	101.99	444.30	2241.05	2685.35	1.3739	5.9104	7.2843
150	111.37	467.08	2226.46	2693.54	1.4335	5.7897	7.2232
175	116.06	486.97	2213.57	2700.53	1.4848	5.6868	7.1717
200	120.23	504.68	2201.96	2706.63	1.5300	5.5970	7.1271
225	124.00	520.69	2191.35	2712.04	1.5705	5.5173	7.0878
250	127.43	535.34	2181.55	2716.89	1.6072	5.4455	7.0526
275	130.60	548.87	2172.42	2721.29	1.6407	5.3801	7.0208
300	133.55	561.45	2163.85	2725.30	1.6717	5.3201	6.9918
325	136.30	573.23	2155.76	2728.99	1.7005	5.2646	6.9651
350	138.88	584.31	2148.10	2732.40	1.7274	5.2130	6.9404
375	141.32	594.79	2140.79	2735.58	1.7527	5.1647	6.9174
400	143.63	604.73	2133.81	2738.53	1.7766	5.1193	6.8958
450	147.93	623.24	2120.67	2743.91	1.8206	5.0359	6.8565
500	151.86	640.21	2108.47	2748.67	1.8606	4.9606	6.8212
550	155.48	655.91	2097.04	2752.94	1.8972	4.8920	6.7892
600	158.85	670.54	2086.26	2756.80	1.9311	4.8289	6.7600
650	162.01	684.26	2076.04	2760.30	1.9627	4.7704	6.7330
700	164.97	697.20	2066.30	2763.50	1.9922	4.7158	6.7080
750	167.77	709.45	2056.98	2766.43	2.0199	4.6647	6.6846
800	170.43	721.10	2048.04	2769.13	2.0461	4.6166	6.6627
850	172.96	732.20	2039.43	2771.63	2.0709	4.5711	6.6421
900	175.38	742.82	2031.12	2773.94	2.0946	4.5280	6.6225
950	177.69	753.00	2023.08	2776.08	2.1171	4.4869	6.6040
1000	179.91	762.79	2015.29	2778.08	2.1386	4.4478	6.5864
1100	184.09	781.32	2000.36	2781.68	2.1791	4.3744	6.5535
1200	187.99	798.64	1986.19	2784.82	2.2165	4.3067	6.5233
1300	191.64	814.91	1972.67	2787.58	2.2514	4.2438	6.4953
1400	195.07	830.29	1959.72	2790.00	2.2842	4.1850	6.4692

**Table A.II.3(SI).** Superheated Steam Properties

C	$P = 0.01 \text{ MPa (45.81)}$				$P = 0.05 \text{ MPa (81.33)}$				$P = 0.10 \text{ MPa (99.63)}$			
	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
Sat.	14.674	2437.9	2384.7	8.1502	3.240	2483.9	2645.9	7.394	1.694	2506.1	2675.5	7.3394
50	14.869	2443.9	2392.6	8.1749								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4479	3.418	2511.6	2682.5	7.695	1.696	2506.7	2676.2	7.3614
150	19.512	2587.9	2783.0	8.6882	3.889	2585.6	2780.1	7.940	1.936	2582.8	2776.4	7.6134
200	21.825	2661.3	2879.5	8.9038	4.336	2659.9	2877.7	8.158	2.172	2658.1	2875.3	7.8345
250	24.136	2736.0	2977.3	9.1002	4.820	2735.0	2976.0	8.356	2.406	2733.7	2974.3	8.0333
300	26.446	2812.1	3076.5	9.2813	5.284	2811.3	3075.5	8.537	2.639	2810.4	3074.3	8.2158
400	31.063	2968.9	3279.6	9.6077	6.209	2968.5	3278.9	8.864	3.103	2967.9	3278.2	8.5435
500	35.679	3132.3	3489.1	9.8978	7.134	3132.0	3488.7	9.135	3.565	3131.6	3488.1	8.8342
600	40.295	3302.5	3705.4	10.1608	8.057	3302.2	3705.1	9.418	4.028	3301.9	3704.7	9.0976
700	44.911	3479.6	3928.7	10.4028	8.981	3479.4	3928.5	9.660	4.490	3479.2	3928.2	9.3398
800	49.526	3663.8	4159.0	10.6281	9.904	3663.6	4158.9	9.885	4.952	3663.5	4158.6	9.5652
900	54.141	3855.0	4396.4	10.8396	10.828	3854.9	4396.3	10.097	5.414	3854.8	4396.1	9.7767
1000	58.757	4053.0	4640.6	11.0393	11.751	4052.9	4640.5	10.296	5.875	4052.8	4640.3	9.9764
1100	63.372	4257.5	4891.2	11.2287	12.674	4257.4	4891.1	10.486	6.337	4257.3	4891.0	10.1659
1200	67.987	4467.9	5147.8	11.4091	13.597	4467.8	5147.7	10.666	6.799	4467.7	5147.6	10.3463
1300	72.602	4683.7	5409.7	11.5811	14.521	4683.6	5409.6	10.838	7.260	4683.5	5409.5	10.5183

C	$P = 0.20 \text{ MPa (120.23)}$				$P = 0.30 \text{ MPa (133.55)}$				$P = 0.40 \text{ MPa (143.63)}$			
	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
Sat.	0.8857	2529.5	2706.7	7.1272	0.605	2543.6	2725.3	6.9919	0.4625	2553.6	2738.6	6.8959
150	0.9396	2576.9	2768.8	7.2795	0.634	2570.8	2761.0	7.0778	0.4768	2564.5	2752.8	6.9399
200	1.0803	2654.4	2870.5	7.5066	0.716	2650.7	2865.6	7.3115	0.5342	2646.8	2860.5	7.1706
250	1.1988	2731.2	2971.0	7.7086	0.796	2728.7	2967.6	7.5166	0.5951	2726.1	2964.2	7.3789
300	1.3162	2808.6	3071.8	7.8926	0.875	2806.7	3069.3	7.7022	0.6548	2804.8	3066.8	7.5662
400	1.5493	2966.7	3276.6	8.2218	1.032	2965.6	3273.0	8.0330	0.7726	2964.4	3273.4	7.8985
500	1.7814	3130.8	3487.1	8.5133	1.187	3130.0	3486.0	8.3251	0.8893	3129.2	3484.9	8.1913
600	2.0130	3301.4	3704.0	8.7770	1.341	3300.8	3703.2	8.5892	1.0055	3300.2	3702.4	8.4558
700	2.2440	3478.8	3927.6	9.0194	1.496	3478.4	3927.1	8.8319	1.1215	3477.9	3926.5	8.6987
800	2.4750	3663.1	4158.2	9.2449	1.650	3662.9	4157.8	9.0576	1.2372	3662.4	4157.3	8.9244
900	2.7060	3854.5	4395.8	9.4566	1.804	3854.2	4395.4	9.2692	1.3529	3853.9	4395.1	9.1362
1000	2.9370	4052.5	4640.0	9.6563	1.958	4052.3	4639.7	9.4690	1.4685	4052.0	4639.4	9.3360
1100	3.1680	4257.0	4890.7	9.8458	2.112	4256.8	4890.4	9.6585	1.5840	4256.5	4890.2	9.5256
1200	3.3990	4467.5	5147.3	10.0262	2.266	4467.2	5147.1	9.8389	1.6996	4467.0	5146.8	9.7060
1300	3.6300	4683.2	5409.3	10.1982	2.4201	4683.0	5409.0	10.0110	1.8151	4682.8	5408.8	9.8780

C	$P = 0.50 \text{ MPa (151.86)}$				$P = 0.60 \text{ MPa (158.85)}$				$P = 0.80 \text{ MPa (170.43)}$			
	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
Sat.	0.3749	2561.2	2748.7	6.8213	0.316	2567.4	2756.8	6.7600	0.240	2576.8	2769.1	6.6628
200	0.4249	2642.9	2855.4	7.0592	0.352	2638.9	2850.1	6.9665	0.261	2630.6	2839.3	6.8158
250	0.4744	2723.5	2960.7	7.2709	0.394	2720.9	2957.2	7.1816	0.293	2715.5	2950.0	7.0384
300	0.5226	2802.9	3064.2	7.4599	0.434	2801.0	3061.6	7.3724	0.324	2797.2	3056.5	7.2328
350	0.5701	2882.6	3167.7	7.6329	0.474	2881.2	3165.7	7.5464	0.354	2878.2	3161.7	7.4089
400	0.6173	2963.2	3271.8	7.7938	0.514	2962.1	3270.3	7.7079	0.384	2859.7	3267.1	7.5716
500	0.7109	3128.4	3483.9	8.0873	0.592	3127.6	3482.8	8.0021	0.443	3126.0	3480.6	7.8673
600	0.8041	3299.6	3701.7	7.3522	0.670	3299.1	3700.9	8.2674	0.502	3297.9	3699.4	8.1333
700	0.8969	3477.5	3925.9	8.5952	0.747	3477.0	3925.3	8.5107	0.560	3476.2	3924.2	8.3770
800	0.9896	3662.1	4156.9	8.8211	0.825	3661.8	4156.5	8.7367	0.618	3661.1	4155.6	8.6033
900	1.0822	3853.6	4394.7	9.0329	0.90	3853.4	4394.4	8.9486	0.676	3852.8	4393.7	8.8153
1000	1.1747	4051.8	4639.1	9.2328	0.979	4051.5	4638.8	9.1485	0.734	4051.0	4638.2	9.0153
1100	1.2672	4256.3	4889.9	9.4224	1.056	4256.1	4889.6	9.3381	0.792	4255.6	4889.1	9.2050
1200	1.3596	4466.8	5146.6	9.6029	1.133	4466.5	5146.3	9.5185	0.850	4466.1	5145.9	9.3855
1300	1.4521	4682.5	5408.6	9.7749	1.210	4682.3	5408.3	9.6906	0.908	4681.8	5407.8	9.5575

Table A.II.3(SI). Superheated Steam Properties (continued)

C	P = 1.00 MPa (179.91)				P = 1.20 MPa (187.99)				P = 1.40 MPa (195.07)			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
Sat.	0.1944	2583.6	2778.1	6.5865	0.1633	2588.8	2784.8	6.5233	0.1408	2592.8	2790.0	6.4693
200	0.2060	2621.9	2827.9	6.6940	0.1690	2612.8	2815.9	6.5898	0.1430	2603.1	2803.3	6.4975
250	0.2327	2709.9	2942.6	6.9247	0.1823	2704.2	2935.0	6.8294	0.1635	2698.3	2927.2	6.7467
300	0.2579	2793.2	3051.2	7.1329	0.2138	2789.2	3045.8	7.0317	0.1823	2785.2	3040.4	6.9534
350	0.2825	2875.2	3157.7	7.3011	0.2345	2872.2	3153.6	7.2121	0.2003	2869.2	3149.5	7.1360
400	0.3066	2957.3	3263.9	7.4651	0.2548	2954.9	3260.7	7.3774	0.2178	2952.5	3257.5	7.3026
500	0.3541	3124.4	3478.5	7.7622	0.2946	3122.8	3476.3	7.6759	0.2521	3121.1	3474.1	7.6027
600	0.4011	3296.8	3697.9	8.0290	0.3339	3295.6	3696.3	7.9435	0.2860	3294.4	3694.8	7.8710
700	0.4478	3475.3	3923.1	8.2731	0.3729	3474.4	3922.0	8.1881	0.3195	3473.6	3920.8	8.1160
800	0.4943	3660.4	4154.7	8.4996	0.4118	3659.7	4153.8	8.4148	0.3528	3659.0	4153.0	8.3431
900	0.5407	3852.2	4392.9	8.7118	0.4505	3851.6	4392.2	8.6272	0.3861	3851.1	4391.5	8.5556
1000	0.5871	4050.5	4637.6	8.9119	0.4892	4050.0	4637.0	8.8274	0.4192	4049.5	4636.4	8.7559
1100	0.6335	4255.1	4888.6	9.1017	0.5278	4254.6	4888.0	9.0172	0.4524	4254.1	4887.5	8.9457
1200	0.6798	4465.6	5145.4	9.2822	0.5665	4465.1	5144.9	9.1977	0.4855	4464.7	5144.4	9.1262
1300	0.7261	4681.3	5407.4	9.4543	0.6051	4680.9	5407.0	9.3698	0.5186	4680.4	5406.5	9.2984
C	P = 1.60 MPa (201.41)				P = 1.80 MPa (207.15)				P = 2.00 MPa (212.42)			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
Sat.	0.12380	2596.0	2794.0	6.4218	0.11042	2598.4	2797.1	6.3794	0.09963	2600.3	2799.5	6.3409
225	0.13287	2644.7	2857.3	6.5318	0.11673	2636.6	2846.7	6.4808	0.10377	2628.3	2835.8	6.4147
250	0.14184	2692.3	2919.2	6.6332	0.12497	2686.0	2911.0	6.7664	0.11100	2679.6	2902.5	6.5453
300	0.15862	2781.1	3034.8	6.8844	0.14021	2776.9	3029.2	6.8226	0.12547	2772.6	3023.5	6.7664
350	0.17456	2866.0	3145.4	7.0694	0.15457	2863.0	3141.2	7.0100	0.13857	2859.8	3137.0	6.9563
400	0.19005	2950.1	3254.2	7.2374	0.16847	2947.7	3250.9	7.1794	0.15120	2945.2	3247.6	7.1271
500	0.2203	3119.5	3472.0	7.5390	0.19550	3168.8	3472.0	7.5390	0.17568	3116.2	3467.6	7.4317
600	0.2500	3293.3	3693.2	7.8080	0.22200	3292.1	3691.7	7.7523	0.19960	3290.9	3690.1	7.7024
700	0.2794	3472.7	3919.7	8.0535	0.24820	3471.8	3918.5	7.9983	0.22320	3470.9	3917.4	7.9487
800	0.3086	3658.3	4152.1	8.2808	0.2742	3657.6	4151.2	8.2258	0.2467	3657.0	4150.3	8.1763
900	0.3377	3850.5	4390.8	8.4935	0.3001	3849.9	4390.1	8.4386	0.2700	3849.3	4389.4	8.3895
1000	0.3668	4049.0	4635.8	8.6938	0.3260	4048.5	4635.2	8.6391	0.2933	4048.0	4634.6	8.5901
1100	0.3958	4253.7	4887.0	8.8837	0.3518	4253.2	4886.4	8.8290	0.3166	4252.7	4885.9	8.7800
1200	0.4248	4464.2	5143.9	9.0643	0.3776	4463.7	5143.4	9.0096	0.3398	4463.3	5142.9	8.9607
1300	0.4538	4679.9	5406.0	9.2364	0.4034	4679.5	5405.6	9.1818	0.3631	4679.0	5405.1	9.1329
C	P = 2.50 MPa (223.99)				P = 3.00 MPa (233.90)				P = 3.50 MPa (242.60)			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
Sat.	0.0800	2693.1	2803.1	6.2375	0.06668	2694.1	2804.2	6.1869	0.05707	2693.7	2803.4	6.1253
225	0.0803	2695.6	2806.3	6.2639								
250	0.0870	2662.6	2880.1	6.4085	0.07000	2644.0	2855.8	6.2872	0.05872	2623.7	2829.2	6.1749
300	0.0989	2761.6	3008.8	6.6438	0.08100	2750.1	2993.5	6.5390	0.06842	2738.0	2977.5	6.4461
350	0.1098	2851.9	3126.3	6.8403	0.09000	2843.7	3115.3	6.7428	0.07678	2835.3	3104.0	6.6379
400	0.1201	2939.1	3239.3	7.0148	0.09900	2932.8	3230.9	6.9212	0.08453	2926.4	3222.3	6.8405
450	0.13014	3025.5	3350.8	7.1746	0.10787	3020.4	3344.0	7.0834	0.09196	3015.3	3337.2	7.0052
500	0.1400	3112.1	3462.1	7.3234	0.11619	3108.0	3456.5	7.2338	0.09918	3103.0	3450.9	7.1572
600	0.1593	3288.0	3686.3	7.5960	0.13243	3285.0	3682.3	7.5085	0.11324	3282.1	3678.4	7.4339
700	0.1783	3468.7	3914.5	7.8435	0.14838	3466.3	3911.7	7.7571	0.12699	3464.3	3908.8	7.6837
800	0.19716	3653.3	4148.2	8.0720	0.16414	3653.5	4145.9	7.9862	0.14056	3651.8	4143.7	7.9134
900	0.2159	3847.9	4387.6	8.2833	0.17900	3846.3	4385.9	8.1999	0.15402	3845.0	4384.1	8.1276
1000	0.2346	4046.7	4633.1	8.4861	0.19541	4045.4	4631.6	8.4009	0.16743	4044.1	4630.1	8.3288
1100	0.2532	4251.5	4884.6	8.6762	0.21098	4250.3	4883.3	8.5912	0.18080	4249.2	4881.9	8.5192
1200	0.2718	4462.1	5141.7	8.8569	0.22600	4460.9	5140.5	8.7720	0.19415	4459.8	5139.3	8.7000
1300	0.2905	4677.8	5404.0	9.0291	0.24200	4676.6	5402.8	8.9442	0.20749	4675.5	5401.7	8.8723

**Table A.II.3(SI).** Superheated Steam Properties (continued)

C	P = 4.0 MPa (250.40)				P = 4.5 MPa (257.49)				P = 5.0 MPa (263.99)			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
	Sat.	0.0498	2602.3	3801.4	6.0701	0.0440	2600.1	2798.3	6.0198	0.0394	2597.1	2794.3
275	0.0546	2667.9	3886.2	6.2285	0.0473	2690.3	2863.2	6.1401	0.0414	2631.3	2838.3	6.0544
300	0.0588	2725.3	3960.7	6.3615	0.0514	2712.0	2943.1	6.2828	0.0453	2698.0	2904.5	6.2084
350	0.0665	2826.7	4092.5	6.5821	0.0584	2817.8	3080.6	6.5131	0.0519	2808.7	3068.4	6.4493
400	0.0734	2919.9	4213.6	6.7690	0.0648	2913.3	3204.7	6.7047	0.0578	2906.6	3195.7	6.6499
450	0.0800	3010.2	4330.3	6.9363	0.0707	3005.0	3323.3	6.8746	0.0633	2999.7	3316.2	6.8186
500	0.0864	3099.5	4445.3	7.0900	0.0765	3095.3	3439.6	7.0301	0.0686	3091.0	3433.8	6.9759
600	0.0989	3279.1	4674.4	7.3688	0.0877	3276.0	3670.5	7.3110	0.0787	3273.0	3666.5	7.2589
700	0.1110	3462.1	4905.9	7.6198	0.0985	3459.9	3903.0	7.5631	0.0885	3457.6	3900.1	7.5122
800	0.1229	3650.0	4141.5	7.8502	0.1091	3648.3	4139.3	7.7942	0.0981	3646.6	4137.1	7.7440
900	0.1347	3843.6	4382.3	8.0647	0.1197	3842.2	4380.6	8.0091	0.1076	3840.7	4378.8	7.9593
1000	0.1465	4042.9	4628.7	8.2662	0.1301	4041.6	4627.2	8.2108	0.1171	4040.4	4625.7	8.1612
1100	0.1582	4248.0	4880.6	8.4567	0.1406	4246.8	4879.3	8.4015	0.1265	4245.6	4878.0	8.3520
1200	0.1699	4458.6	5138.1	8.6376	0.1510	4457.5	5136.9	8.5825	0.1359	4456.3	5135.7	8.5331
1300	0.1816	4674.3	5400.5	8.8100	0.1614	4673.1	5399.4	8.7549	0.1453	4672.0	5398.2	8.7055

C	P = 6.0 MPa (275.64)				P = 7.0 MPa (285.83)				P = 8.0 MPa (295.06)			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
	Sat.	0.0324	2589.7	2784.3	5.8892	0.0274	2580.5	2772.1	5.8133	0.0235	2569.8	2758.0
300	0.0362	2667.2	2894.2	6.0674	0.0295	2632.2	2838.4	5.9305	0.0243	2590.9	2785.0	5.7906
350	0.0422	2789.6	3043.0	6.3335	0.0352	27694.0	3016.0	6.2283	0.0300	2747.7	2987.3	6.1301
400	0.0474	2892.9	3177.2	6.5408	0.0399	2878.6	3158.1	6.4478	0.0343	2863.8	3138.3	6.3634
450	0.0521	2988.9	3301.8	6.7193	0.0442	2978.0	3287.1	6.6327	0.0382	2966.7	3272.0	6.5551
500	0.0567	3082.2	3422.2	6.8803	0.0481	3073.4	3410.3	6.7975	0.0418	3064.3	3398.3	6.7240
550	0.0610	3174.6	3540.6	7.0288	0.0520	3167.2	3530.9	6.9486	0.0452	3159.8	3521.0	6.8778
600	0.0653	3266.9	3658.4	7.1677	0.0557	3260.7	3650.3	7.0894	0.0485	3254.4	3642.0	7.2589
700	0.0735	3453.1	3894.2	7.4234	0.0628	3448.5	3888.3	7.3476	0.0548	3443.9	3882.4	7.2812
800	0.0816	3643.1	4132.7	7.6566	0.0698	3639.5	4128.2	7.5822	0.0610	3636.0	4123.8	7.5173
900	0.0896	3837.8	4375.3	7.8727	0.0767	3825.0	4371.8	7.7991	0.0670	3832.1	4368.3	7.7351
1000	0.0975	4037.8	4622.7	8.0751	0.0835	4025.3	4619.8	8.0020	0.0730	4032.8	4616.9	7.9384
1100	0.1054	4243.3	4875.4	8.2661	0.0903	4240.9	4872.8	8.1933	0.0790	4238.6	4870.5	8.1300
1200	0.11321	4454.0	5133.3	8.4474	0.0970	4451.7	5130.9	8.3747	0.08489	4449.5	5128.5	8.3115
1300	0.12106	4669.6	5396.0	8.6199	0.10377	4667.3	5393.7	8.5475	0.0908	4665.0	5391.5	8.4842

C	P = 9.0 MPa (303.40)				P = 10.0 MPa (311.06)				P = 12.5 MPa (327.89)			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
	Sat.	0.0205	2557.8	2742.1	5.6772	0.0180	2544.4	2724.7	5.6141	0.0135	2505.1	2673.0
325	0.0233	2646.6	2856.0	5.8712	.019 86	2610.4	2809.1	5.7568				
350	0.0258	2734.4	2956.6	6.0361	0.0224	2699.2	2923.4	5.9443	0.0161	2624.6	2826.2	5.7118
400	0.0299	2848.4	3117.8	6.2854	0.0264	2832.4	3096.5	6.2120	0.0200	2789.3	3039.3	6.0417
450	0.0335	2955.2	3256.6	6.4844	0.0308	2943.4	3240.9	6.4190	0.0230	2912.5	3199.8	6.2719
500	0.0368	3055.2	3386.1	6.6576	0.0328	3045.8	3373.7	6.5966	0.0256	3023.7	3341.8	6.4618
550	0.0399	3152.2	3511.0	6.8142	0.0356	3144.6	3500.9	6.7561	0.0280	3125.0	3475.2	6.6290
600	0.0429	3248.1	3633.7	6.9589	0.0384	3241.7	3625.3	6.9029	0.0303	3225.4	36040.0	6.7810
650	0.0457	3343.6	3755.3	7.0943	0.0410	3338.2	3748.2	7.0398	0.0325	3324.4	3730.4	6.9218
700	0.0486	3439.3	3876.5	7.2221	0.0436	3434.7	3870.5	7.1687	0.0346	3422.9	3855.3	7.0536
800	0.0541	3632.5	4119.3	7.4596	0.0486	3628.9	4114.8	7.4077	0.0387	3620.0	4103.6	7.2963
900	0.0595	3829.2	4364.8	7.6783	0.0535	3826.3	4361.2	7.6272	0.0427	3819.1	4352.5	7.5182
1000	0.0649	4030.3	4614.0	7.8821	0.0583	4027.8	4611.0	7.8315	0.0466	4021.6	4603.8	7.7237
1100	0.0702	4236.3	4867.7	8.0740	0.0631	4234.0	4865.1	8.0237	0.0505	4228.2	4858.8	7.9163
1200	0.0754	4447.2	5126.2	8.2556	0.0679	4444.9	5123.8	8.2055	0.0543	4439.3	5118.0	8.0987
1300	0.0807	4662.7	5389.2	8.4284	0.0727	4660.5	5387.0	8.3783	0.0581	4654.8	5381.4	8.2717



Lampiran 1. Data Harian (1 Oktober 2021-31 Oktober 2021) Entalpi Total, Turbin *Heat Rate*, dan Efisiensi Turbin yang diperoleh di PKS PT. Umbul Mas Wisesa Palm Oil Mill

Tanggal	T Steam Masuk (°c)	P Steam Masuk (Bar)	T Steam Keluar (°c)	P Steam Keluar (Bar)	Laju Aliran Massa (kg.uap/jam)	H1 (kJ/kg)	H2 (kJ/kg)	H Total(kJ/kg)	Daya Turbin (kWh)	Turbine Heat Rate (Kcal/kWh)	Efisiensi (%)
01 Oktober 2021	296.6	28.74	133.55	3	41241.19	2986.16	2725.3	260.860	8756.5	1228.593253	69.999
02 Oktober 2021	293.3	29.81	133.55	3	41232.24	2975.048	2725.3	249.748	8740.6	1178.142173	72.99628
03 Oktober 2021	286.1	28.37	132.37	2.9	41128.46	2955.219	2723.696	231.523	8734.7	1090.155866	78.8878
4 Oktober 2021	290.1	29.83	131.19	2.8	41256.55	2966.235	2722.092	244.143	8722.8	1154.732183	74.47614
5 Oktober 2021	291.6	29.05	131.19	2.8	41214.32	2970.366	2722.092	248.274	8738.5	1170.961159	73.44394
6 Oktober 2021	289.2	29.21	131.19	2.8	41156.75	2963.757	2722.092	241.665	8605.4	1155.802867	74.40715
7 Oktober 2021	285.1	28.96	132.7	2.9	41134.58	2952.465	2723.696	228.769	8653.8	1087.420177	79.08626
8 Oktober 2021	289.1	29.11	133.55	3	41125.67	2963.481	2725.3	238.181	8734.7	1121.429838	76.68781
9 Oktober 2021	280.2	27.69	133.55	3	41130.54	2938.971	2725.3	213.671	8743.7	1005.112665	85.56255
10 Oktober 2021	286.1	28.05	133.55	3	41129.43	2955.219	2725.3	229.919	8659.2	1092.068253	78.74966
11 Oktober 2021	290.2	28.53	131.19	2.8	41136.56	2966.511	2722.092	244.419	8743.2	1149.985916	74.78352
12 Oktober 2021	285.1	29.03	131.19	2.8	41132.97	2952.465	2722.092	230.373	8743.9	1083.718443	79.35641
13 Oktober 2021	286.3	28.53	132.7	2.9	41127.61	2955.77	2723.696	232.074	8645.3	1104.027502	77.89661
14 Oktober 2021	281.2	29.06	132.7	2.9	41133.45	2941.725	2723.696	218.029	8654.2	1036.292779	82.98813
15 Oktober 2021	285.4	28.1	132.7	2.9	41138.17	2953.292	2723.696	229.596	8634.6	1093.873402	78.6197
16 Oktober 2021	281.2	27.96	131.19	2.8	41140.28	2941.725	2722.092	219.633	8543.4	1057.630816	81.31382
17 Oktober 2021	286.3	28.12	133.55	3	41132.19	2955.77	2725.3	230.47	8736.7	1085.047653	79.25919

18 Oktober 2021	292.2	25.76	133.55	3	41128.47	2972.019	2725.3	246.719	8722.2	1163.373345	73.92296
19 Oktober 2021	296.6	26.82	133.55	3	41125.12	2984.136	2725.3	258.836	8744.3	1217.325751	70.64666
20 Oktober 2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21 Oktober 2021	289.1	27.5	132.7	2.9	41136.35	2963.481	2723.696	239.785	8755.7	1126.566658	76.33814
22 Oktober 2021	294.3	30.26	132.7	2.9	41123.81	2977.802	2723.696	254.106	8753.5	1193.786127	72.0397
23 Oktober 2021	293.5	27.36	133.55	3	41122.15	2975.599	2725.3	250.299	8747.1	1176.713771	73.08489
24 Oktober 2021	299.1	29.27	133.55	3	41125.65	2991.021	2725.3	265.721	8748.5	1249.122575	68.84833
25 Oktober 2021	298.3	29.31	132.7	2.9	41133.54	2988.818	2723.696	265.122	8652.5	1260.376353	68.23359
26 Oktober 2021	298.7	29.14	132.7	2.9	41123.73	2989.92	2723.696	266.224	8687.1	1260.273727	68.23914
27 Oktober 2021	299.2	29.23	131.19	2.8	41129.19	2991.927	2722.092	269.835	8645.1	1283.743969	66.99155
28 Oktober 2021	290.8	29.83	133.55	3	41129.38	2968.163	2725.3	242.863	8732.6	1143.852302	75.18453
29 Oktober 2021	296.1	29.19	132.7	2.9	41122.58	2982.759	2723.696	259.063	8675.3	1228.008131	70.03211
30 Oktober 2021	294.3	29.38	132.7	2.9	41128.98	2977.802	2723.696	254.106	8654.4	1207.607759	71.21518
31 Oktober 2021	288.7	28.71	133.55	3	41132.68	2962.38	2725.3	237.08	8634.2	1129.431305	76.14452

Lampiran 2. Data Harian (1 Nopember 2021-30 Nopember 2021) Entalpi Total, Turbin *Heat Rate*, dan Efisiensi Turbin yang diperoleh di PKS PT. Umbul Mas Wisesa Palm Oil Mill

Tanggal	T Steam Masuk (°c)	P Steam Masuk (Bar)	T Steam Keluar (°c)	P Steam Keluar (Bar)	Laju Aliran Massa (kg.uap/jam)	H1 (kJ/kg)	H2 (kJ/kg)	H Total(kJ/kg)	Daya Turbin (kWh)	Turbine Heat Rate (Kcal/kWh)	Efisiensi (%)
01 Nopember 2021	285	28.76	133.5	3	51700.5	2952.19	2725.3	226.89	8954.2	1310.036234	65.6470392
02 Nopember 2021	287	27.23	120.23	2	51657.4	2957.7	2706.63	251.07	8967.5	1446.29199	59.462405
03 Nopember 2021	282	28.4	133.5	3	51674.5	2943.93	2725.3	218.63	8973.7	1258.96742	68.3099488
04 Nopember 2021	279	27.81	134.65	3.1	51684.2	2935.67	2726.78	208.89	8985.2	1201.566191	71.5732522
05 Nopember 2021	276	26.96	133.5	3	51638.4	2927.4	2725.3	202.1	8996.9	1159.968505	74.139944
06 Nopember 2021	278	27.19	134.65	3.1	51629.7	2932.91	2726.78	206.13	9008.8	1181.337144	72.7988622
07 Nopember 2021	278	28.23	134.65	3.1	51675.4	2932.91	2726.78	206.13	9036	1178.823617	72.9540864
08 Nopember 2021	280	27.59	133.5	3	51638.7	2938.42	2725.3	213.12	9049.6	1216.102341	70.7177325
09 Nopember 2021	279	27.85	134.65	3.1	51640.6	2935.67	2726.78	208.89	9025.8	1195.152223	71.957361
10 Nopember 2021	281	27.4	133.5	3	51678.2	2941.17	2725.3	215.87	9083.1	1228.190049	70.0217365

11 Nopember 2021	277	28.05	133.5	3	51678.5	2930.1 6	2725.3	204.86	9052.7	1169.46960 7	73.537610 1
12 Nopember 2021	276	27.53	135.65	3.1	51684.9	2927.4	2726.7 8	200.62	9102.4	1139.15282 1	75.494699 6
13 Nopember 2021	273	28.4	135.65	3.1	51658.8	2919.1 4	2726.7 8	192.36	9149.9	1086.03228 1	79.187333 1
14 Nopember 2021	287	28.21	133.5	3	51657.8	2957.7	2725.3	232.4	9127.1	1315.34361 6	65.382154 9
15 Nopember 2021	284	26.98	135.65	3.1	51639.7	2949.4 4	2726.7 8	222.66	9025.8	1273.91429	67.508466 3
16 Nopember 2021	285	27.05	133.5	3	51647.4	2952.1 9	2725.3	226.89	8943.9	1310.19785 4	65.638941 3
17 Nopember 2021	289	24.96	133.5	3	51718.7	2963.2 1	2725.3	237.91	8954.2	1374.14798 8	62.584234 5
18 Nopember 2021	288	27.05	133.5	3	51653.1	2960.4 5	2725.3	235.15	8931.7	1359.90085 5	63.239904 4
19 Nopember 2021	292	27.48	133.5	3	51648.6	2971.4 7	2725.3	246.17	8936.2	1422.78998 5	60.44462
20 Nopember 2021	281	26.39	133.5	3	51644.7	2941.1 7	2725.3	215.87	8922.5	1249.48628 6	68.828286 4
21 Nopember 2021	291	27.21	135.65	3.1	51632.7	2968.7 1	2726.7 8	241.93	8964.3	1393.47178 4	61.716355 5
22 Nopember 2021	291	28.76	135.65	3.1	51682.3	2968.7 1	2726.7 8	241.93	8965.1	1394.68593 1	61.662628 2
23 Nopember 2021	276	28.85	135.65	3.1	51621.7	2927.4	2726.7 8	200.62	8942.6	1158.09109 8	74.260133 9
24 Nopember 2021	297	28.53	133.5	3	51647.3	2985.2 4	2725.3	259.94	8921.7	1504.78038 5	57.151196 8
25 Nopember 2021	299	28.96	135.65	3.1	51633.5	2990.7 5	2726.7 8	263.97	8934.8	1525.46167 7	56.376375 3

26 Nopember 2021	299	27.85	135.65	3.1	51631.5	2990.7 5	2726.7 8	263.97	8932.1	1525.86368 9	56.361522 1
27 Nopember 2021	300	28.5	135.65	3.1	51644.5	2993.5	2726.7 8	266.72	9105.6	1512.76368 8	56.849593
28 Nopember 2021	298	27.75	133.5	3	51632.3	2987.9 9	2725.3	262.69	9103.4	1489.91463 5	57.721427 8
29 Nopember 2021	296	27.76	133.5	3	51713.8	2982.4 8	2725.3	257.18	9144.6	1454.38347	59.131585 1
30 Nopember 2021	298	27.36	135.65	3.1	51724.7	2987.9 9	2726.7 8	261.21	9021.3	1497.67870 3	57.422196

Lampiran 3. Data Harian (1 Desember 2021-31 Desember 2021) Entalpi Total, Turbin *Heat Rate*, dan Efisiensi Turbin yang diperoleh di PKS PT. Umbul Mas Wisesa Palm Oil Mill

Tanggal	T Steam Masuk (°c)	P Steam Masuk (Bar)	T Steam Keluar (°c)	P Steam Keluar (Bar)	Laju Aliran Massa (kg.uap/jam)	H1 (kJ/kg)	H2 (kJ/kg)	H Total(kJ/kg)	Daya Turbin (kWh)	Turbine Heat Rate (Kcal/kWh)	Efisiensi (%)
01 Desember 2021	274.1	29.18	133.55	3	61385.4	2922.17	2725.3	196.87	6895.6	1752.558689	49.0711099
2 Desember 2021	271.6	28.46	134.65	3.1	61378.6	2915.29	2726.78	188.51	6898.5	1677.245762	51.2745371
3 Desember 2021	272.4	28.62	133.55	3	61353.6	2917.49	2725.3	192.19	6901.2	1708.622904	50.3329317
4 Desember 2021	272.9	28.87	134.65	3.1	61329.4	2918.87	2726.78	192.09	6904.5	1706.244398	50.4030959
5 Desember 2021	273	29.05	133.55	3	61328.6	2919.14	2725.3	193.84	6905.5	1721.517026	49.9559393
6 Desember 2021	273.4	28.44	133.55	3	61357.3	2920.24	2725.3	194.94	6908.6	1731.319234	49.6731038
7 Desember 2021	271.2	28.36	133.55	3	61342.7	2914.18	2725.3	188.88	6909	1677.002341	51.2819797
8 Desember 2021	272.4	28.52	133.55	3	61344.7	2917.49	2725.3	192.19	6909.7	1706.273484	50.4022367
9 Desember 2021	260.5	27.91	133.55	3	61323.7	2884.72	2725.3	159.42	6910.4	1414.711776	60.7897676
10 Desember 2021	261.3	28.49	134.65	3.1	61401.2	2886.92	2726.78	160.14	5234.9	1878.314422	45.7857316







Lampiran 4. Data rata-rata bulanan (Oktober 2021-Desember 2021) Entalpi Total, Turbin *Heat Rate*, dan Efisiensi Turbin yang diperoleh di PKS PT. Umbul Mas Wisesa Palm Oil Mill

<b>Bulan</b>	<b>T Steam Masuk (°c)</b>	<b>P Steam Masuk (Bar)</b>	<b>T Steam Keluar (°c)</b>	<b>P Steam Keluar (Bar)</b>	<b>Laju Aliran Massa (kg.uap/jam)</b>	<b>H1 (kJ/kg)</b>	<b>H2 (kJ/kg)</b>	<b>H Total (kJ/kg)</b>	<b>Daya Turbin (kWh)</b>	<b>Turbine Heat Rate (Kcal/kWh)</b>	<b>Efisiensi (%)</b>
Oktober	281.096	27.739	128.396	2.822	39817.825	2941.438	2722.346	219.092	8417.538	1036.380	82.981
Nopember	286.066	27.701	133.927	3.013	51660.47	2955.109	2725.357	229.751	9008.756	1317.502	65.275
Desember	267.8689	27.959	133.891	3.031	61340.513	2904.821	2725.742	179.078	9122.256	1204.171	71.418

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Frans Fadillah Prasojo  
Tempat, Tanggal Lahir : Tonduhan, 28 Oktober 1999  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Agama : Islam  
Alamat : Rintis IX Balimbingan, Kec. Tanah Jawa, Kab.  
Simalungun, Prov. Sumatera Utara  
No. Telp/ HP : 0822-67944920  
Email : [fransfadillah28@gmail.com](mailto:fransfadillah28@gmail.com)

### **Pendidikan Formal**

Tahun 2006-2012 : SD Negeri 091681 Gunung bayu  
Tahun 2012-2015 : SMP Negeri 1 Bandar Perdagangan  
Tahun 2015-2018 : SMA Swasta Sultan Agung Pematangsiantar  
Tahun 2018-2022 : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara