

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISA PEMAKAIAN BEBAN TERHADAP KAPASITAS PENGUNAAN GENERATOR TURBIN 800 KW PADA PTPN IV UNIT PKS BERANGIR**

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

**Disusun Oleh :**

**WAHYU RAMADHONI**

**1907220039**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2023**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Wahyu Ramadhoni

NPM : 1907220039

Program Studi : Teknik Elektro

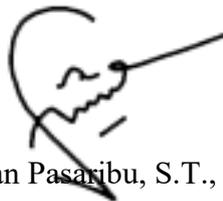
Judul Skripsi : Analisa Pemakaian Beban Terhadap Kapasitas Penggunaan  
Genetator Turbin 800 kW Pada PTPN IV Unit PKS Berangir

Bidang Ilmu : Analisa Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

Dosen Penguji I



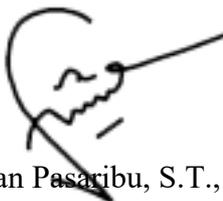
Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd.

Dosen Penguji II



Rimbawati, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Elektro



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Wahyu Ramadhoni  
Tempat/Tanggal Lahir : Andansari, 24 November 2001  
Npm : 1907220039  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

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

**“Analisa Pemakaian Beban Terhadap Kapasitas Penggunaan Generator Turbin 800 kW Pada PTPN IV Unit PKS Berangir”**

Bukan Merupakan Plagiarisme, Pencurian hasil karya orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara Orisinil dan Ontentik.

Bila Kemudian Hari diduga Kuat ada ketidak sesuaian antara Fakta dan 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 perbuat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan atau paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 01 September 2023

Saya yang menyatakan,



Wahyu Ramadhoni

## ABSTRAK

Energi adalah kebutuhan pokok manusia untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Perkembangan teknologi dan industri yang pesat akan mendorong peningkatan kebutuhan energi. Salah satu energi yang sangat besar pemanfaatannya adalah energi listrik. Dalam menghadapi tantangan energi dan lingkungan saat ini, mencari sumber energi alternatif yang murah, efisien, dan berkelanjutan semakin mendesak. Salah satu opsi yang menarik adalah pemanfaatan cangkang dan *fiber* sebagai sumber bahan bakar. Cangkang dan *fiber* yang merupakan sisa dari pengolahan TBS dari pabrik kelapa sawit yang memiliki potensi besar dalam penggunaan energi yang ramah lingkungan. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, sejumlah perusahaan besar seperti PT. Perkebunan Nusantara (PTPN) mengambil inisiatif untuk membangun pembangkit listrik sendiri. Salah satu pembangkit tersebut berada di PTPN IV Unit PKS Berangir yang memanfaatkan turbin sebagai sumber energi turbin sebagai sumber energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisa pemakaian turbin uap (PLTU) guna memenuhi kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di PTPN IV Unit PKS Berangir. Setelah melakukan kajian dengan pengamatan analisa data di lapangan, diketahui pemakaian turbin uap maksimum sebesar 574,19 kW atau 71,77% dari kapasitas turbin yang digunakan. Untuk jumlah pemakaian bahan bakar cangkang dan *fiber* 132,96 Ton/hari dengan energi 13.780,56 kWh/hari sedangkan Untuk jumlah bahan bakar minyak 1200 liter/hari dengan energi 1200 kWh/hari. Maka dari hasil penelitian ini menyimpulkan pemakaian pada PTPN IV Unit PKS Berangir masih mencukupi untuk kapasitas turbin yang terpakai dan pemakaian bahan bakar (cangkang dan *fiber*) jauh lebih banyak membutuhkan bahan bakar dengan energi yang lebih besar pula di dibandingkan pada bahan bakar minyak.

**Kata Kunci :** Energi Listrik, Beban Listrik, Pembangkit, Bahan Bakar

## **ABSTRACT**

*Energy is a basic human need to carry out daily activities. The rapid development of technology and industry will drive an increase in energy demand. One of the very large energy utilization is electrical energy. In facing the current energy and environmental challenges, finding alternative energy sources that are cheap, efficient and sustainable is increasingly urgent. One interesting option is the use of shells and fiber as a fuel source. Shells and fibers which are the residue from the processing of FFB from palm oil mills have great potential in using environmentally friendly energy. To meet this need, a number of large companies such as PT. Perkebunan Nusantara (PTPN) took the initiative to build its own power plant. One of these generators is at PTPN IV PKS Berangir Unit which utilizes turbines as a source of energy. This study aims to analyze the use of steam turbines (PLTU) to meet the needs of electrical energy in the palm oil processing at PTPN IV PKS Berangir Unit. After conducting a study by observing data analysis in the field, it is known that the maximum use of a steam turbine is 574.19 kW or 71.77% of the turbine capacity used. The total use of shell and fiber fuel is 132.96 tons/day with an energy of 13,780.56 kWh/day while for the amount of fuel oil it is 1200 liters/day with an energy of 1200 kWh/day. So from the results of this study it is concluded that the use of PTPN IV Berangir PKS Unit is still sufficient for the used turbine capacity and the use of fuel (shell and fiber) requires far more fuel with greater energy than fuel oil.*

**Keywords :** *Electrical Energy, Electrical Expenses, Generators, Fuel*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul ” **ANALISA PEMAKAIAN BEBAN TERHADAP KAPASITAS PENGGUNAAN GENERATOR TURBIN 800 KW PADA PTPN IV UNIT PKS BERANGIR** ” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini, untuk itu penulis menghanturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada :

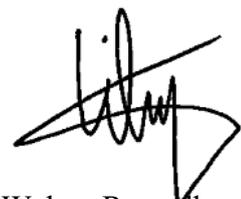
1. Orang tua penulis : Ibu Sri Wahyuni, yang tiada hentinya mendoakan dan memberikan dukungan serta nasehat setiap harinya.
2. Bapak Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, M.sc., P.hd, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T, selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Rahyumi Arsa, Selaku Manager PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir.
7. Bapak Maratuasyah Dalimunthe, Selaku Asisten Teknik PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir.
8. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Ibu Elvy Sahnur, S.T., M.Pd, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

10. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T, Selaku Dosen Pembimbing yang telah membatu menyelesaikan serta memberi ide-ide dan masukan dalam menyelesaikan sidang tugas akhir ini.
11. Ibu Elvy Sahnur, S.T., M.Pd, Selaku Dosen Pembanding I yang telah memberikan ide-ide dan masukan dalam menyelesaikan siding tugas akhir ini.
12. Ibu Rimbawati, S.T., M.T, Selaku Dosen Pembanding II yang telah memberikan ide-ide dan masukan dalam menyelesaikan siding tugas akhir ini.
13. Bapak & Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu ketekniklistrikan kepada penulis.
14. Bapak & Ibu Staf pada PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir.
15. Bapak & Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
16. Serta teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stanbuk 2019.

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

Medan, 2023

Penulis



Wahyu Ramadhoni

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABLE</b> .....	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	x
<b>BAB I</b> .....	1
<b>PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1. Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2. Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3. Ruang Lingkup</b> .....	2
<b>1.4. Tujuan Penelitian</b> .....	2
<b>1.5. Manfaat Penelitian</b> .....	3
<b>BAB II</b> .....	4
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>2.1. Kajian Pustaka Relevan</b> .....	4
<b>2.2. Landasan Teori</b> .....	10
<b>2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)</b> .....	10
<b>2.3.1. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)</b> .....	11
<b>2.3.2. Karakteristik Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)</b> .....	13
<b>2.4. Turbin Uap</b> .....	18
<b>2.4.1. Prinsip Kerja Turbin Uap</b> .....	21
<b>2.4.2. Faktor Faktor Turbin Uap</b> .....	22
<b>2.4.3. Spesifikasi Turbin di PTPN IV Unit PKS Berangir</b> .....	24
<b>2.5. Generator</b> .....	25
<b>2.5.1. Prinsip Kerja Generator</b> .....	27
<b>2.5.2. Generator Berbeban</b> .....	28
<b>2.5.3. Spesifikasi Generator pada PTPN IV Unit PKS Berangir</b> .....	29
<b>2.6. Ketel Uap (<i>Boiler</i>)</b> .....	31
<b>2.6.1. Prinsip Kerja Ketel Uap (<i>Boiler</i>)</b> .....	35
<b>2.7. Kondensor</b> .....	35

2.8. Beban Listrik.....	38
<b>BAB III.....</b>	<b>41</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>41</b>
3.1. Tempat Penelitian .....	41
3.2. Jabwal Penelitian .....	41
3.3. Peralatan Penelitian.....	41
3.4. Teknik Pengumpulan Data .....	44
3.4.1. Data Primer .....	44
3.4.2. Data Sekunder.....	44
3.4.3. Prosedur Penelitian.....	45
3.5. Diagram Alir Penelitian.....	47
<b>BAB IV.....</b>	<b>48</b>
<b>ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN .....</b>	<b>48</b>
4.1. Tabel Data Beban.....	48
4.2. Analisa Data Beban.....	53
4.3. Grafik Dan Hasil Analisa Data.....	62
4.4. Faktor Yang Mempengaruhi Beban Pada Turbin Uap.....	77
4.4.1. Tabel Data Bahan bakar .....	77
4.4.2. Bahan Bakar Biomasa .....	78
4.4.3. Bahan Bakar Minyak .....	78
4.4.4. Hasil Analisa Data Pada Bahan Bakar Cangkang dan <i>Fiber</i> .....	78
4.4.5. Hasil Analisa Data Pada Bahan Bakar Minyak.....	79
<b>BAB V .....</b>	<b>81</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>81</b>
5.1. Kesimpulan.....	81
5.2. Saran .....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>83</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>86</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Siklus Rankine.....	11
<b>Gambar 2. 2</b> Diagram Siklus Rankine.....	12
<b>Gambar 2. 3</b> Batu-Bara.....	15
<b>Gambar 2. 4</b> Cangkang dan Serabut.....	18
<b>Gambar 2. 5</b> Komponen Turbin Uap.....	21
<b>Gambar 2. 6</b> Prinsip Kerja Turbin.....	22
<b>Gambar 2. 7</b> Spesifikasi Turbine Uap Di PTPN IV .....	25
<b>Gambar 2. 8</b> Diagram Generator AC Satu fase 2 kutub .....	27
<b>Gambar 2. 9</b> Diagram Generator AC Tiga fase 2 kutub .....	28
<b>Gambar 2. 10</b> Kondisi reaksi jangkar .....	29
<b>Gambar 2. 11</b> Spesifikasi Generator di PTPN IV.....	30
<b>Gambar 2. 12</b> Komponen Boiler .....	31
<b>Gambar 2. 13</b> Prinsip Kerja Boiler.....	35
<b>Gambar 2. 14</b> Kondensor.....	36
<b>Gambar 2. 15</b> Gelombang Listrik Beban Resistif .....	38
<b>Gambar 2. 16</b> Gelombang Listrik Beban Induktif.....	39
<b>Gambar 2. 17</b> Gelombang Listrik Beban Kapasitif.....	40
<b>Gambar 3. 1</b> Control Panel.....	41
<b>Gambar 3. 2</b> Tang Ampere Digital.....	42
<b>Gambar 3. 3</b> Buku dan Pulpen.....	42
<b>Gambar 3. 4</b> MCB ( <i>Miniature circuit breaker</i> ).....	43
<b>Gambar 3. 5</b> Ampere/Volt Meter.....	44
<b>Gambar 3. 6</b> Diagram Alir Penelitian.....	47
<b>Gambar 4. 1</b> Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 11-01-2023 .....	62
<b>Gambar 4. 2</b> Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 11-01-2023 .....	63
<b>Gambar 4. 3</b> Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 12-01-2023 .....	64
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 12-01-2023 .....	64
<b>Gambar 4. 5</b> Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 16-01-2023 .....	65
<b>Gambar 4. 6</b> Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 16-01-2023 .....	66
<b>Gambar 4. 7</b> Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 17-01-2023 .....	67
<b>Gambar 4. 8</b> Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 17-01-2023 .....	67
<b>Gambar 4. 9</b> Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 20-01-2023 .....	68
<b>Gambar 4. 10</b> Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 20-01-2023 .....	69
<b>Gambar 4. 11</b> Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 21-01-2023 .....	70
<b>Gambar 4. 12</b> Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 21-01-2023 .....	70
<b>Gambar 4. 13</b> Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 23-01-2023 .....	71
<b>Gambar 4. 14</b> Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 23-01-2023 .....	72
<b>Gambar 4. 15</b> Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 24-01-2023 .....	73
<b>Gambar 4. 16</b> Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 24-01-2023 .....	73

<b>Gambar 4. 17</b> Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 27-01-2023 .....	74
<b>Gambar 4. 18</b> Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 27-01-2023 .....	75
<b>Gambar 4. 19</b> Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 28-01-2023 .....	76
<b>Gambar 4. 20</b> Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 28-01-2023 .....	76

## DAFTAR TABLE

<b>Table 4. 1</b>	Data Beban pada tanggal 11-01-2023, Pukul 08:00-12:00 WIB.....	48
<b>Table 4. 2</b>	Data Beban pada tanggal 11-01-2023, Pukul 13:00-17:00 WIB.....	49
<b>Table 4. 3</b>	Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 11-01-2023 .....	49
<b>Table 4. 4</b>	Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 12-01-2023 .....	50
<b>Table 4. 5</b>	Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 16-01-2023 .....	50
<b>Table 4. 6</b>	Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 17-01-2023 .....	50
<b>Table 4. 7</b>	Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 20-01-2023 .....	51
<b>Table 4. 8</b>	Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 21-01-2023 .....	51
<b>Table 4. 9</b>	Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 23-01-2023 .....	51
<b>Table 4. 10</b>	Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 24-01-2023 .....	52
<b>Table 4. 11</b>	Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 27-01-2023 .....	52
<b>Table 4. 12</b>	Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 28-01-2023 .....	52
<b>Table 4. 13</b>	Hasil Analisa Tanggal 11-01-2023 .....	62
<b>Table 4. 14</b>	Hasil Analisa Tanggal 12-01-2023 .....	63
<b>Table 4. 15</b>	Hasil Analisa Tanggal 16-01-2023 .....	65
<b>Table 4. 16</b>	Hasil Analisa Tanggal 17-01-2023 .....	66
<b>Table 4. 17</b>	Hasil Analisa Tanggal 20-01-2023 .....	68
<b>Table 4. 18</b>	Hasil Analisa Tanggal 21-01-2023 .....	69
<b>Table 4. 19</b>	Hasil Analisa Tanggal 23-01-2023 .....	71
<b>Table 4. 20</b>	Hasil Analisa Tanggal 24-01-2023 .....	72
<b>Table 4. 21</b>	Hasil Analisa Tanggal 27-01-2023 .....	74
<b>Table 4. 22</b>	Hasil Analisa Tanggal 28-01-2023 .....	75
<b>Table 4. 23</b>	Data bahan bakar di PTPN IV Unit PKS Berangir .....	77
<b>Table 4. 24</b>	Hasil Analisa Pemakaian Bahan Bakar Biomasa dan Minyak.....	80

## **DAFTAR LAMPIRAN**

<b>Lampiran 1</b> Lokasi Penelian.....	86
<b>Lampiran 2</b> Salah Satu Tempat Pengambilan Data.....	86
<b>Lampiran 3</b> Generator Turbin 800 kW.....	87
<b>Lampiran 4</b> Foto Bersama Manager dan Asisten Teknik.....	87

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan peningkatan jumlah penduduk mengakibatkan permintaan energi listrik semakin meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, sejumlah perusahaan besar seperti Perusahaan Perkebunan Nusantara (PTPN) mengambil inisiatif untuk membangun pembangkit listrik sendiri. Salah satu pembangkit tersebut berada di PTPN IV Unit PKS Berangir yang memanfaatkan turbin sebagai sumber energi turbin sebagai sumber energi listrik.

Energi adalah kebutuhan pokok manusia untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Perkembangan teknologi dan industri yang pesat akan mendorong peningkatan kebutuhan energi. Salah satu energi yang sangat besar pemanfaatannya adalah energi listrik. Pemanfaatan energi listrik terus bertambah mulai dari rumah tangga, perusahaan/ pabrik, perkantoran, dan lain-lain. Seiring dengan berjalannya waktu perkembangan dunia industri semakin pesat. Salah satu opsi yang menarik adalah pemanfaatan cangkang dan *fiber* sebagai sumber bahan bakar. Cangkang dan *fiber* yang merupakan sisa dari pengolahan TBS dari pabrik kelapa sawit yang memiliki potensi besar dalam penggunaan energi yang ramah lingkungan. Dalam proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak mentah (*crude oil palm*) dan inti sawit (kernel) diperlukan energi listrik untuk menggerakkan seluruh mesin produksi di dalam pabrik. Oleh karena listrik yang diperlukan dalam proses pengolahan kelapa sawit sangat besar dan tidak memungkinkan untuk seluruhnya disuplai dari Perusahaan Listrik Negara (PLN), maka setiap Pabrik Kelapa Sawit memiliki pembangkit listrik sendiri untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di dalam proses pengolahan kelapa sawit (Purba, 2018).

Turbin adalah mesin yang digunakan untuk menghasilkan daya listrik dari energi kinetik air atau uap. Turbin memiliki kapasitas tertentu yang dapat digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Oleh karena itu, pemilihan turbin harus didasarkan pada beban listrik yang akan digunakan. Jika beban listrik

melebihi kapasitas turbin, maka kinerja turbin akan menurun dan dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini akan dilakukan untuk menganalisa pemakaian beban terhadap kapasitas penggunaan generator turbin 800 kw pada PTPN IV Unit PKS Berangir. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna dalam menentukan kapasitas turbin yang sesuai dengan beban listrik yang digunakan.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Apakah kapasitas turbin yang digunakan pada PTPN IV Unit PKS Berangir sudah sesuai dengan beban listrik yang digunakan?
- b. Apa saja faktor-faktor yang mempengaruhi pemakaian beban terhadap generator turbin 800 kw pada PTPN IV Unit PKS Berangir?

### **1.3. Ruang Lingkup**

Agar penelitian ini ter-arrah tanpa mengurangi maksud dan tujuan, maka ditetapkan ruang lingkup dalam penelitian sebagai berikut :

- a. Menganalisa beban listrik di PTPN IV Unit PKS Berangir yang digunakan dalam operasional pabrik kelapa sawit.
- b. Menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi beban generator turbin 800 kW pada PTPN IV Unit PKS Berangir.

### **1.4. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Menganalisa beban listrik pada PTPN IV Unit PKS Berangir serta menentukan kapasitas turbin yang sesuai dengan beban listrik yang digunakan.
- b. Menganalisa faktor yang mempengaruhi beban listrik pada bahan bakar terhadap kapasitas penggunaan generator turbin 800 kW di PTPN IV Unit PKS Berangir.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diharapkan dapat memperoleh dari penelitian ini adalah :

- a. Memberikan rekomendasi untuk peningkatan efisiensi dan kapasitas penggunaan generator turbin 800 kW di PTPN IV Unit PKS Berangir.
- b. Menambah pengetahuan dan pemahaman mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi pemakaian beban terhadap kapasitas penggunaan turbin.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Kajian Pustaka Relevan**

Penelitian (Soelaiman, Sofyan, 1958) yang berjudul Analisa Prestasi Kerja Turbin Uap Pada Beban yang Bervariasi. Dalam Penelitian ini Turbin dituntut harus mempunyai kemampuan untuk beroperasi dengan kestabilan yang cukup dalam jangka waktu yang luas dari keadaan tanpa beban hingga ke beban penuh. Masalahnya, adanya hubungan langsung antara daya yang dihasilkan turbin dengan aliran massa uap melalui turbin tersebut, maka setiap variasi beban pada terminal generator akan langsung mempengaruhi laju aliran uap, bertambah atau berkurang tergantung pada apakah beban tersebut bertambah besar atau mengecil. Dengan mengetahui prestasi kerja Turbin pada beban yang bervariasi maka kita dapat mengetahui batas-batas (range) beban yang masih dapat dipikul oleh suatu Turbin uap dengan *Heat Rate* Turbin yang cukup rendah. Hasil Penelitian ini menyatakan Pada kondisi normal Turbin unit 1 - 4 UBP Suralaya memiliki unjuk kerja yang baik pada beban operasi puncak 400 MW atau lebih, dimana pada beban tersebut konsumsi kalor turbin atau *Heat Rate* Turbin cukup rendah berkisar antara 1833,278 – 1871,901 Kcal/kWh. *Heat Rate* tertinggi terjadi bila turbin dioperasikan pada beban rendah 260 MW dengan nilai *Heat Rate* mencapai 1958,554 Kcal/kWh.

Penelitian (Setiawan et al., 2022) yang berjudul Analisis Kinerja Turbin Uap Unit 1 Di Cirebon Power. Dalam Penelitian ini PLTU dengan tipe supercritical yang terletak di Jawa yang mempunyai kapasitas sebesar 660 MW. Komponen penting PLTU yang digunakan untuk membangkitkan listrik diantaranya adalah turbin uap yang berfungsi untuk merubah energi kalor menjadi energi mekanik. PLTU Cirebon Power menggunakan tipe turbin tandem compound, single reheat. Parameter kinerja dari turbin uap dapat ditinjau dari heat rate, efisiensi termal dan efisiensi isentropik. Penelitian ini menganalisa efisiensi isentropik, efisiensi termal turbin dan turbine heatrate. Hasil Penelitian ini perhitungan dan analisa maka diperoleh nilai turbin heat rate aktual terendah pada bulan Januari sebesar 7909,33 kJ/kWh dan tertinggi pada bulan April sebesar 8116,52 kJ/kWh. Efisiensi termal

tertinggi pada bulan Januari sebesar 45,52% dan terendah pada bulan April sebesar 44,36%. Efisiensi isentropik turbin LP sebesar 88,59-87,71%, turbin IP sebesar 86,46-86,76%, turbin HP dengan nilai 81,25 – 82,73%.

Penelitian (Effendi, 2017) yang berjudul Analisa Sistem Kelistrikan Pada Stasiun Pengolahan Kernel Kapasitas 50 Ton/Jam Di Pabrik Kelapa Sawit PT. SKL. Dalam Penelitian ini Sumber energi yang terpasang pada pabrik kelapa sawit kapasitas 50 ton per jam adalah 2 (dua) buah genset 320 kW, 1 (satu) buah genset 125 kW, dan 1 (satu) buah steam turbin generator 1200 kW yang dapat beroperasi secara bergantian maupun sama sama. Penelitian ini menganalisa berapa daya yang di butuhkan di PKS PT. SKL. Metode Penelitian ini menggunakan *study literature*, observasi lapangan serta mengumpulkan data langsung. Hasil dari penelitain ini Dapat di analisa bahwa jumlah perhitungan pemakaian daya keseluruhan pada stasiun pengolahan kernel 761,890 kW/jam selama berjalannya produksi kelapa sawit, dan pemakaian daya terbesar digunakan oleh motor *fibre cyclone drum* dan *secondary depericarper fan* yaitu 131,63 kW. Dan pemakaian daya terkecil digunakan oleh *motor wet nut conveyor*, *air lock*, *vibrating feeder*, *claybath agitator* dan *claybath vibrating* yaitu 5,265 kW.

Penelitian (MP Saragih, SA Saragih, 2017) yang berjudul Pengaruh Variasi Tekanan Uap Outlet *SuperHeater* Terhadap *Performance* Turbin Uap Di PT.Perkebunan Nusantara V Sei Pagar. Dalam Penelitian ini Turbin uap merupakan suatu sistem yang menggunakan uap sebagai fluida kerjanya untuk menghasilkan listrik. Dengan masalah Berapa nilai tekanan steam outlet superheater serta variasi performance turbin uap yang paling baik. Hasil dari penelitian ini turbin uap yang paling baik diperoleh dengan tekanan steam outlet superheater adalah sebesar 20 kg/cm<sup>2</sup>, nilai daya turbin tertinggi sebesar 978,33 kW, nilai torsi tertinggi sebesar 6225,57 N.m, nilai daya efektif tertinggi sebesar 977,41 kW, nilai panas masuk ke turbin tertinggi sebesar 245,3 kJ/kg, nilai panas keluar turbin tertinggi sebesar 2728 kJ/kg, nilai kerja turbin tertinggi sebesar 176,1 kJ/kg, nilai kerja pompa yang tertinggi sebesar 25,29 kJ/kg, nilai kerja yang berguna tertinggi sebesar 150,81 kJ/kg, dan nilai efesiensi thermal tertinggi sebesar 61,5 %.

Penelitian (Ilham & Aksar, 2021) yang berjudul Analisis Pengaruh Nilai Beban Unit Terhadap Efisiensi dan *Heat Rate* Turbin Pada PLTU Moramo. Dalam Penelitian ini Beban yang dibangkitkan pada PLTU Moramo tidak selalu konstan karena adanya fluktuasi beban pada jaringan listrik sesuai dengan permintaan konsumen. Salah satu indikator utama performa turbin adalah efisiensi siklus turbin uap dan heat rate turbin. Penelitian ini menganalisa bagaimana pengaruh beban unit PLTU Moramo terhadap nilai efisiensi dan heat rate turbin uap. Menggunakan metode pendekatan analisis termodinamika dan metode input-output energi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar beban unit PLTU Moramo akan semakin baik performa dari turbin uapnya.

Penelitian (Rizca et al., 2018) yang berjudul Analisis Beban Generator Terhadap Nilai *Heat Rate* Dan Efisiensi PLTU (Studi Observasional Di PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA, Tbk P-12 TARJUN - KALIMANTAN SELATAN). Dalam Penelitian ini PLTU PT. ITP yang hampir mencapai 20 tahun beroperasi terus-menerus, pastinya akan menyebabkan berkurangnya keandalan serta umur pakainya, hal ini berkaitan langsung dengan nilai heat rate yang akan semakin meningkat dengan semakin bertambah umur suatu pembangkit listrik namun berbanding terbalik dengan efisiensinya, efisiensi akan semakin menurun dengan bertambahnya umur pembangkit listrik. Dengan metode langsung yaitu studi literature, observasi serta pengambilan data. Hasil dari penelitian ini Efisiensi PLTU tertinggi adalah sebesar 33,54% pada saat beban 47,8 MW, efisiensi PLTU terkecil adalah 26,27% pada saat beban 29,86 MW. Pengaruh beban generator terhadap efisiensi adalah sebesar 56,06%, maka dari itu PLTU akan semakin efisien dan optimal jika dioperasikan pada beban generator tinggi.

Penelitian (Parinduri, 2016) yang berjudul Analisa Pemanfaatan Biomassa Pabrik Kelapa Sawit Untuk Sumber Pembangkit Listrik. Dalam penelitian ini PKS hanya menghasilkan 25-30 % produk utama berupa 20-23 % CPO dan 5-7 % inti sawit (kernel). Sementara sisanya sebanyak 70-75 % adalah limbah yang dapat digolongkan kedalam tiga golongan yaitu limbah cair, limbah padat, dan limbah gas. Jumlah limbah padat yang dihasilkan oleh PKS berkisar antara 40 – 41% dari setiap ton sawit yang diolah. Limbah PKS sesungguhnya adalah buangan yang

merupakan komponen pencemar, namun dapat dimanfaatkan salah satunya sebagai sumber energi listrik. Penelitian ini menganalisa berapa kapasitas dan daya listrik yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar biomasa pada PKS perjam. Hasil penelitian ini Produk samping dari pabrik pengolahan kelapa sawit merupakan biomassa yang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti bahan bakar minyak. Pada PKS Dolok Sinumbah yang berkapasitas 30 ton TBS/jam telah menggunakan serat dan cangkang untuk memanaskan *boiler* sebagai penghasil uap yang digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Listrik yang dihasilkan digunakan untuk memenuhi seluruh kebutuhan listrik sebesar 734 Kwh.

Penelitian (Bau Puspa Ratu, Zulhajji, 2021) yang berjudul Studi Perubahan Beban Listrik Terhadap Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan. Dalam penelitian ini Kondisi pengoperasian PLTG yang dilakukan secara terus menerus dan pengaruh keadaan sekitar (udara luar) yang cenderung berubah maka akan menyebabkan kemampuan (performance) suatu sistem PLTG ikut berubah. Masalahnya Berapa daya masukan (P in), daya keluaran (P out) pada Generator Pembangkit Listrik Tenaga Gas. Dengan metode kualitatif seperti observasi dan pengumpulan data. Hasil penelitian ini Semakin tinggi beban pemakaian listrik maka semakin rendah efisiensi generatornya dan begitu juga sebaliknya semakin kecil beban pemakaian listrik maka semakin besar efisiensi dari generator tersebut.

Penelitian (Dwiono, 2019) yang berjudul Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron. Dalam penelitian ini Menurut definisi IEEE: Stabilitas sistem tenaga adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk memberikan kondisi operasi mula, untuk kembali pada keadaan seimbang setelah mengalami gangguan fisik. Penelitian ini dengan menganalisis pengaruh perubahan beban pada generator sinkron. Dengan metode kualitatif seperti observasi dan pengumpulan data. Hasil Penelitian ini diperoleh efisiensi generator unit 1 & 2 berada pada rentang 97,12 % sampai dengan 98,73%, angka ini cukup baik mengingat rugi yang dihasilkan maksimal hanya sebesar 2,88 %.

Penelitian (Mulyono et al., 2020) yang berjudul Analisis Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Gas Dan Hsd (*High Speed Diesel*) Terhadap Kinerja Dan

Produksi Gas Buang Pembangkit Pada Variasi Beban PLTGU X. Dalam penelitian ini penggunaan bahan bakar HSD terhitung jarang digunakan, disebabkan beberapa alasan, diantaranya harga BBM yang lebih mahal dari Bahan Bakar Gas (BBG), efek residu yang dihasilkan oleh BBM lebih banyak daripada BBG, dan masih banyak lagi pertimbangan yang lain. Penelitian ini menganalisis perbandingan antara BBG dan HSD dengan beban operasi PLTGU yang sama. Dengan metode yang digunakan yaitu studi literatur mengenai dasar teori, melakukan observasi ke ruang kontrol dengan mempelajari log sheet. Hasil penelitian ini diperoleh yaitu perbandingan antara BBG dan HSD dengan beban operasi PLTGU yang sama menunjukkan bahwa efisiensi sistem PLTGU tertinggi yang didapat yaitu senilai 48,987 % pada beban operasi 228 MW menggunakan HSD, dan nilai terendahnya yaitu sebesar 36,136 % pada beban operasi 211 MW.

Penelitian (Wołowicz et al., 2012) yang berjudul *Feedwater repowering of 800 MW supercritical steam power plant*. Dalam penelitian ini Kriteria yang harus dipenuhi oleh turbin uap agar aman dan terhubung secara optimal ke sistem uap dibahas. Sebuah model unit referensi dengan tenaga listrik 800 MW (salah satu unit daya superkritik yang ada di *Polandia Belchatow II*) telah dibuat, yang kemudian dilengkapi dengan turbin gas (A PG7161-EC oleh *General Electric*). Penelitian ini Peningkatan daya disebabkan oleh daya ekstra yang dihasilkan oleh turbin gas dan output yang lebih tinggi dari sistem uap yang disebabkan oleh peningkatan aliran uap melalui turbin. Dengan metode model matematika dari sistem (software). Hasil penelitian ini Daya sistem diubah secara linier dengan aliran uap dan mencapai titik nominal 20% lebih tinggi dibandingkan tanpa penambahan turbin gas. Karakteristik efisiensi keseluruhan sistem lebih rata, memiliki nilai lebih tinggi. Pada titik nominal, selisihnya sekitar 1% dan naik dari 43,5% menjadi sekitar 44,5%.

Penelitian (Listiana & Efendi, 2018) yang berjudul *Biomass analysis at palm oil factory as an electric power plant*. Dalam Penelitian ini Pada pabrik kelapa sawit PTPN IV DolokSinumbah dengan kapasitas 30 ton tbs/jam serat buah sawit dan cangkang sawit telah dimanfaatkan sebagai bahan bakar *boiler* untuk memproduksi steam untuk memasok pembangkit listrik *boiler*. Penelitian ini menganalisa berapa banyak jumlah steam yang dapat di suplai. Dengan metode

kualitatif seperti observasi dan pengambilan data. Hasil penelitian ini bahan *fibre* dan *shell* cukup untuk menyuplai 18 ton/jamsteam untuk *boiler*. Bahkan kelebihan material cangkang sebanyak 441,5 ton per bulan. Dengan memanfaatkan 2 jenis biomassa yang tersedia sendiri, kebutuhan listrik pabrik sebesar 734 Kwh dapat terpenuhi.

Penelitian (Satrio, 2021) yang berjudul *Analysis of the Effects of Fuel Type Selection on the Performance and Fuel Consumption*. Dalam penelitian ini Sumber energi fosil digunakan sebagai bahan bakar dalam proses pembakaran di pembangkit listrik tenaga panas bumi. Berkurangnya pasokan bahan bakar fosil seringkali menjadi kendala bagi pembangkit listrik dalam proses produksinya. Kondisi ini dapat mempengaruhi nilai efisiensi Pembangkit Listrik. Penelitian ini menganalisa efisiensi pembangkit listrik, dimungkinkan untuk mengatur jenis bahan bakar dalam proses pembakaran. Dengan metode menggunakan *Software Cycle Tempo* digunakan dalam proses simulasi siklus termodinamika di pembangkit listrik. Hasil penelitian ini Gas alam, Biosolar B30, dan bahan bakar MFO (*Marine Fuel Oil*) dalam penelitian ini. Biosolar B30 merupakan hasil pencampuran bahan bakar antara FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) dan solar. Biosolar B30 dibuat dengan perbandingan campuran 70% solar dan 30% FAME. FAME adalah minyak dari tanaman kelapa sawit yang telah diolah menjadi *biofuel*. Berdasarkan hasil penelitian, Biosolar B30 menghasilkan *cycle thermal efficiency* tertinggi sebesar 31,78%. Konsumsi bahan bakar paling sedikit dibutuhkan oleh bahan bakar gas bumi, yaitu 277 juta liter/tahun.

Penelitian (Habib, 2020) yang berjudul Analisis Turbin Uap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. Dalam penelitian ini Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi dalam menghasilkan listrik membutuhkan berbagai komponen salah satunya turbin uap. Turbin uap mengubah energi tekanan uap menjadi energi kinetik pada nosel (turbin impuls) dan sudu-sudu gerak (turbin reaksi) dan diubah menjadi energi mekanik pada poros turbin. Penelitian ini menganalisis berapa daya yang dapat di hasilkan serta berapa persen tingkat efisiensi. Dengan metode Penelitian ini adalah penelitian yang bersifat kualitatif. Hasil penelitian ini Turbin

uap ini mampu menghasilkan daya sebesar 55,3061 mW dan mempunyai tingkat efisiensi yang baik yaitu sebesar 71,48%.

Penelitian (Ramadhan & Jakarta, 2016) yang berjudul Analisis Pengaruh Pemakaian Bahan Bakar Terhadap Efisiensi HRSG KA13E2 Di Muara Tawar *Combine Cycle Power Plant*. Dalam penelitian ini Muara Tawar *Combine Cycle Power Plant* merupakan salah satu pembangkit thermal milik PT PLN (Persero) yang dioperasikan oleh PT. Pembangkitan Jawa Bali. Salah satu keunggulan dari pembangkit listrik jenis *Combine Cycle* adalah fleksibilitas dalam pemakaian bahan bakar. Meskipun Pemerintah telah menekankan untuk meminimalisir penggunaan bahan bakar minyak dalam operasi pembangkit listrik. Penelitian ini menganalisa membandingkan efisiensi yang dicapai oleh HRSG pada saat gas turbine beroperasi menggunakan bahan bakar natural gas maupun saat beroperasi menggunakan bahan bakar *high speed diesel*. Dengan metode analisis data secara kualitatif dapat digunakan pada penelitian yang menggunakan pendekatan kualitatif. Hasil penelitian ini perhitungan efisiensi HRSG yang optimal terjadi pada load set 100%, dimana pada saat turbin gas beroperasi menggunakan bahan bakar natural gas, efisiensi energi yang dicapai sebesar 71.13% dan efisiensi thermal sebesar 83.15%. Hasil yang lain menunjukkan bahwa pada saat beroperasi menggunakan bahan bakar *high speed diesel*, efisiensi energi yang dicapai sebesar 70.26% dan efisiensi thermal yang dicapai sebesar 73.35%.

## **2.2. Landasan Teori**

### **2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)**

Pembangkit Listrik Tenaga Uap secara terus menerus mengubah energi yang ada di dalam bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi, gas alam) atau bahan bakar fisi (*uranium, thorium*) dalam bentuk poros kerja dan akhirnya menjadi energi listrik. Kinerja *fluida* adalah air yang sewaktu-waktu berada pada fasa cair dan sewaktu-waktu pada fasa uap selama siklus beroperasi.

Sistem kerja PLTU menggunakan bahan bakar Batu Bara, Minyak Bumi, Gas alam. Kelebihan dari PLTU adalah daya yang dihasilkan sangat besar. Konsumsi energi pada peralatan PLTU bersumber dari putaran turbin uap. PLTU adalah suatu pembangkit yang menggunakan uap sebagai penggerak utama (*prime*

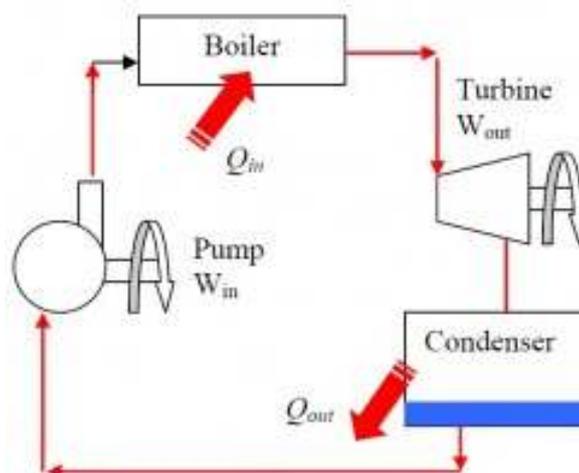
*mover*). Untuk menghasilkan uap, maka haruslah ada proses pembakaran untuk memanaskan air.

PLTU merupakan suatu energi pembangkit tenaga listrik yang mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya, yaitu dengan memanfaatkan energi energi uap untuk menggerakkan proses sudu-sudu turbin menggerakkan poros turbin, untuk selanjutnya poros turbin menggerakkan generator yang kemudian dibangkitkannya energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan akan menyuplai alat-alat yang disebut beban.

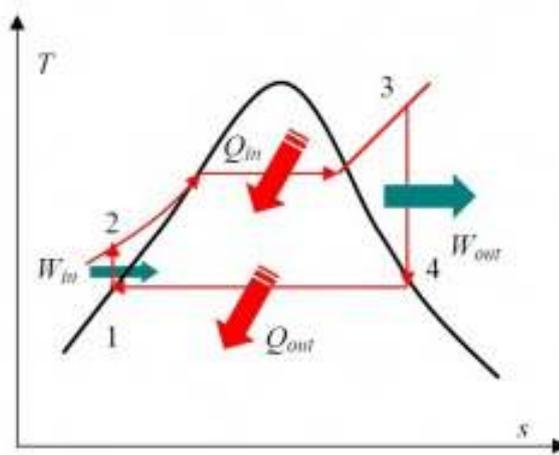
### 2.3.1. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Adapun cara kerja/prinsip kerja PLTU adalah berdasarkan siklus *Rankine*. Siklus *Rankine* terdiri dari beberapa proses sebagai berikut :

- Proses pemompaan isentropik, didalam pompa.
- Proses pemasukan kalor atau pemanasan pada tekanan konstan, di dalam ketel uap.
- Proses ekspansi isentropic didalam turbin atau mesin uap lainnya.
- Proses pengeluaran kalor atau pengembunan pada tekanan konstan, didalam kondensator.



**Gambar 2. 1** Siklus *Rankine*



**Gambar 2. 2** Diagram Siklus *Rankine*

Secara sederhana prinsip kerjanya adalah sebagai berikut: Air masuk ke sistem destilasi (proses pemurnian) menjadi air suling, kemudian di pompa masuk ke tangka air (*reservoir*). Kemudian melalui *demineralizer*, dimana terjadi proses pemisah mineral-mineral, air dimasukkan kedalam tangka berikutnya. *Temperature* air disini sekitar 34° C. Melalui ekonomiser air ditingkatkan suhunya, kemudian ke pemanas tekanan rendah ke ke pemanas tekanan tinggi, sampai suhu 70° C. Pemanasan ini perlu dilakukan untuk menghindari adanya tekanan termal (perubahan suhu mendadak) yang akan dialirkan ke *boiler* untuk di uapkan. Selanjutnya ke pemanasan lanjut primer dan pemanasan lanjut sekunder mengalir menggerakkan turbin.

Dalam kenyataannya siklus sistem turbin uap menyimpang dari siklus *Rankine*, hal ini disebabkan beberapa faktor, yaitu :

- Kerugian dalam pipa/saluran fluida kerja, yaitu kerugian gesekan dan kerugian kalor ke atmosfer sekitarnya, menyebabkan tekanan dan temperature uap masuk turbin menjadi lebih rendah dari pada keadaan ideal.
- Didalam ketel uapnya sendiri juga terjadi tekanan dengan demikian, maka air masuk kedalam ketel harus bertekanan lebih tinggi daripada tekanan uap yang harus dihasilkan, sehingga diperlukan kerja pompa yang lebih besar pula.

- Kerugian energi didalam turbin terutama terjadi karena adanya gesekan antara *fluida* kerja dan bagian-bagian dari turbin.
- Kerugian yang dialami oleh pompa-pompa.
- Kerugian lain-lain diantaranya kerugian kalor ke atmosfer dan kerugian didalam *kondensator*.

Salah satu usaha untuk meningkatkan efisiensi turbin adalah dengan jalan menaikkan tekanan uap dan pemanasan ulang. Dengan pemanasan ulang bukan saja diperoleh efisiensi yang lebih baik, tetapi juga menghindari uap keluar turbin dengan kadar air yang terlampau tinggi. Dengan pemanasan ulang, turbin dibagi menjadi dua bagian yaitu: turbin tekanan tinggi dan turbin tekanan rendah. Uap yang keluar dari turbin tekanan tinggi dipanaskan kembali dalam ketel, kemudian masuk dalam turbin tekanan rendah. Tipe ini dapat dibedakan atas pemakaian bahan bakarnya yaitu: minyak, batu bara, gas, dan biomasa (Sulasno, 1990).

### **2.3.2. Karakteristik Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)**

Pembangkit Listrik Tenaga Uap merupakan pembangkit listrik yang mengubah energi (kimia) bahan bakar menjadi energi listrik. Bahan bakar yang dibakar berfungsi memanaskan air dalam ketel sehingga menjadi uap yang memutar turbin yang akan menggerakkan generator. Peralatan utamanya adalah ketel (*Boiler*) dan Turbin Uap. Peralatan lainnya adalah kondensor, *heater* (pemanas) pompa air ketel dan lain-lain merupakan peralatan bantu yang diperlukan agar instalasi turbin uap dapat beroperasi. Turbin uap dapat dioperasikan baik dengan BBM, BBG atau bahan bakar padat (misalnya batubara) dan Biomasa.

#### **a. BBM (Bahan Bakar Minyak)**

Biasanya bahan bakar pada PLTU yaitu: Minyak residu. Minyak residue adalah sisa minyak mentah yang diperoleh dari proses operasi pengilangan minyak mentah setelah *gasoline*, minyak tanah, minyak diesel dan minyak gas dikeluarkan. Pada umumnya digunakan oleh kapal dan industri besar dengan instalasi pemanas sebagai bahan bakar pada oven dan *boiler*/ketel.

Adapun beberapa karakteristik Bahan bakar minyak seperti residu dan solar sebagai berikut :

1. Nilai Kalor: Bahan residu minyak bakar memiliki nilai kalor yang relatif tinggi, sehingga menghasilkan lebih banyak energi per satuan massa dibandingkan dengan biomasa. Hal ini mempengaruhi potensi turbin untuk menghasilkan beban listrik yang lebih tinggi.
2. Efisiensi Pembakaran: Bahan bakar residu minyak biasanya memiliki efisiensi pembakaran yang tinggi, yang berarti energi dalam bahan bakar dapat dimanfaatkan dengan baik dalam pembakaran. Efisiensi ini berkontribusi pada kemampuan turbin menghasilkan beban listrik yang stabil pada berbagai tingkat beban.

Bahan bakar residu umumnya terdiri dari senyawa-senyawa berat seperti karbon rantai panjang, senyawa *heterosiklik*, logam berat, belerang, nitrogen, dan oksigen. Karena komposisinya, bahan bakar residu memiliki titik nyala yang lebih tinggi dan cenderung lebih sulit terbakar dibandingkan bahan bakar yang lebih ringan (Uloli et al., 2019).

b. BBG (Bahan Bakar Gas)

Bahan bakar gas pada PLTU biasanya menggunakan bahan bakar padat seperti batu-bara. Batu-bara adalah salah satu bahan bakar fosil yang berasal dari batuan sedimen yang dapat terbakar dan terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti  $C_{137}H_{97}O_9NS$  untuk bituminus dan  $C_{240}H_{90}O_4NS$  untuk antrasit (Marsudi, 2011).

Adapun beberapa karakteristik pada BBG (Bahan Bakar Gas) sebagai berikut :

1. Nilai Kalor: Bahan bakar gas alam, seperti metana, memiliki emisi karbon yang lebih rendah daripada bahan bakar fosil lainnya seperti batu bara dan minyak bumi. Ini membuat bahan bakar gas menjadi pilihan yang lebih bersih dan ramah lingkungan dalam menghasilkan listrik, dengan mengurangi dampak negatif terhadap perubahan iklim.

2. Respons Cepat: Salah satu keunggulan utama bahan bakar gas adalah respons yang cepat terhadap permintaan daya. Ini memungkinkan pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar gas untuk dengan cepat menghasilkan daya saat beban listrik meningkat, menjaga stabilitas jaringan listrik.
3. Efisiensi Tinggi: Bahan bakar gas cenderung memiliki efisiensi yang tinggi dalam mengubah panas menjadi daya. Mesin pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar gas dapat menghasilkan daya dengan efisiensi yang baik, yang mengurangi kerugian energi dan biaya operasional.



**Gambar 2. 3 Batu-Bara**

c. Bahan Bakar Biomasa

Bahan bakar biomasa yang biasa sering di pakai oleh pabrik kelapa sawit teruma PTPN IV. Agar kualitas uap yang dihasilkan dari ketel uap sesuai dengan yang diinginkan/dibutuhkan maka dibutuhkan sejumlah panas untuk menguapkan air tersebut, dimana panas tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar ketel. Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna didalam ketel maka diperlukan beberapa syarat, yaitu:

1. Perbandingan pemakaian bahan bakar harus sesuai (cangkang dan serabut)
2. Udara yang dipakai harus mencukupi.
3. Waktu yang diperlukan untuk proses pembakaran harus cukup.
4. Panas yang cukup untuk memulai pembakaran.
5. Kerapatan yang cukup untuk merambatkan nyala api. Dalam hal ini bahan bakar yang digunakan adalah serabut dan cangkang.

Adapun alasan mengapa digunakan serabut dan cangkang sebagai bahan bakar adalah:

1. Bahan bakar cangkang dan serabut cukup tersedia dan mudah diperoleh dipabrik.
2. Harga lebih ekonomis
3. Cangkang dan serabut merupakan limbah dari pabrik kelapa sawit apabila tidak digunakan.
4. Nilai kalor bahan bakar cangkang dan serabut memenuhi persyaratan untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.
5. Sisa pembakaran bahan bakar dapat digunakan serbagai pupuk untuk tanaman kelapa sawit.

Adapun beberapa karakteristik bahan bakar biomasa (cangkang dan Fiber) sebagai berikut :

1. Nilai Kalor dan Kandungan Air: Karakteristik ini mencerminkan kualitas energi yang dihasilkan oleh bahan bakar biomasa. Semakin tinggi nilai kalor dan semakin rendah kandungan air, semakin efisien energi yang dihasilkan dalam Pembakaran. Kualitas energi ini akan mempengaruhi besarnya beban listrik yang dapat dihasilkan oleh uap turbin.
2. Komposisi Kimia: Kandungan kimia dalam bahan bakar biomasa, seperti kadar karbon, hidrogen, dan oksigen, akan mempengaruhi kecepatan dan efisiensi pembakaran. Komposisi kimia yang berbeda dapat menghasilkan efek yang berbeda pada penggunaan energi dalam turbin dan pada akhirnya mempengaruhi beban listrik yang dihasilkan.
3. Ketersediaan Bahan Bakar: Ketersediaan bahan bakar biomasa dapat berdampak pada penjualan operasi dan pasokan energi ke turbin. Jika pasokan biomasa terbatas, beban listrik yang dihasilkan mungkin menjadi terbatas pada tingkat tertentu, terutama pada beban tinggi.

Cangkang adalah sejenis bahan bakar padat yang berwarna hitam berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi oleh serabut. Pada bahan bakar cangkang ini terdapat berbagai unsur kimia antara lain : *Carbon (C)*, *Hidrogen (H<sub>2</sub>)*, *Nitrogen (N<sub>2</sub>)*,

*Oksigen (O<sub>2</sub>)* dan Abu. Dimana unsur kimia yang terkandung pada cangkang mempunyai persentase (%) yang berbeda jumlahnya., bahan bakar cangkang ini setelah mengalami proses pembakaran akan berubah menjadi arang, kemudian arang tersebut dengan adanya udara pada dapur akan terbang sebagai ukuran partikel kecil yang dinamakan peatikel pijar. Apabila pemakaian cangkang ini terlalu banyak dari serabut akan menghambat proses pembakaran akibat penumpukan arang dan nyala api kurang sempurna, dan jika cangkang digunakan sedikit, panas yang dihasilkan akan rendah.karena cangkang apabila dibakar akan mengeluarkan panas yang besar.

Serabut adalah bahan bakar padat yang bebetuk seperti rambut, apabila telah mengalami proses pengolahan berwarna coklat muda, serabut ini terdapat dibagian kedua dari buah kelapa sawit setelah kulit buah kelapa sawit, didalam serabut dan daging buah sawitlah minyak CPO terkandung. Panas yang dihasilkan serabut jumlahnya lebih kecil dari yang dihasilkan oleh cangkang.

Oleh karena itu perbandingan lebih besar serabut dari pada cangkang.disamping serabut lebih cepat habis menjadi abu apabila dibakar, pemakaian serabut yang berlebihan akan berdampak buruk pada proses pembakaran karena dapat menghambat proses perambatan panas pada pipa *water wall*, akibat abu hasil pembakaran beterbangan dalam ruang dapur dan menutupi pipa *water wall*, disamping mempersulit pembuangan dari pintu ekspansi door (pintu keluar untuk abu dan arang) akibat terjadinya penumpukan yang berlebihan (Yanto, 2016).



**Gambar 2. 4** Cangkang dan Serabut

#### **2.4. Turbin Uap**

Turbin merupakan mesin penggerak, dimana energi fluide kerja dipergunakan langsung untuk memutarinya. Dengan adanya energi kinetis uap yang digunakan langsung untuk memutar turbin, maka dapat dikatakan bahwa kemajuan teknologi turbin adalah mengambil manfaat sebesar-besarnya dari energi fluide kerja yang tersedia, mengubahnya menjadi energi mekanis dengan efisiensi maksimum.

Turbin Uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Dengan kata lain mengubah energi entalpi fluide menjadi energi mekanik.

Turbin Uap merupakan salah satu komponen dasar dalam pembangkit listrik tenaga uap, dimana komponen utama dari sistem tersebut yaitu : Ketel, kondensor, pompa air ketel, dan turbin itu sendiri. Uap yang berfungsi sebagai *fluide* kerja dihasilkan oleh ketel uap, yaitu suatu alat yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap yang akan menghasilkan energi listrik.

Secara umum dapat kita lihat bahwa turbin uap terbagi dalam beberapa komponen yaitu:

1. Turbin *Cassing*

Adalah komponen yang berfungsi untuk menutup serta melindungi bagian turbin.

2. *Shaft seals*

*Shaft seals* merupakan salah satu bagian turbin terletak antara poros dengan casing yang berfungsi untuk mencegah uap air keluar dari dalam turbin melewati sela-sela antara poros dan casing akibat perbedaan tekanan serta untuk mencegah udara masuk ke dalam turbin selama beroperasi. Turbin uap menggunakan sistem *labyrinth seal* untuk *shaft seals*.

Sistem ini berupa bagian yang berkelok-kelok pada poros dan casing-nya yang kedua sisinya saling bertemu secara berselang seling. Antara labyrinth seal dengan labyrinth casing ada sedikit rongga dengan jarak tertentu. Sistem ini bertujuan untuk mengurangi tekanan uap air didalam turbin yang masuk ke sela- sela *labyrinth* sehingga tekanan antara uap air dengan udara luar akan mencapai nilai yang sama pada titik tertentu.

3. *Shaft ( poros )*

Adalah komponen turbin yang berputar terdiri dari poros, sudu turbin, atau deretan sudu yang disebut *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.

4. *Gland Packing*

Bagian turbin yang berfungsi sebagai penyekat untuk menahan apabila terjadi kebocoran uap maupun oli.

5. *Front Bearing*

Bearing / bantalan pada turbin uap memiliki fungsi sebagai berikut :

- a. Menahan agar komponen rotor diam.
- b. Menahan berat rotor.
- c. Menahan berbagai gaya tidak stabil dari uap air terhadap sudu turbin.
- d. Menahan ketidakseimbangan karena kerusakan sudu.
- e. Menahan gaya aksial pada beban listrik yang bervariasi

6. *Turbine Control Valve*

Merupakan katup yang bertugas mengatur jumlah *steam* yang masuk kedalam turbin sesuai dengan jumlah steam yang diperlukan sesuai dengan sistem control yang bergantung pada besar beban listrik.

7. *Turning Device*

Adalah suatu mekanisme untuk memutar rotor dari turbin pada saat start awal atau setelah shut down untuk mencegah terjadinya distorsi/bending akibat dari proses pemanasan atau pendinginan yang tidak seragam pada rotor.

8. *Turbine Stop Valve*

Merupakan katup yang berfungsi untuk meneruskan atau menghentikan aliran uap menuju turbin. Disebut juga *Emergency Stop Valve* karena berfungsi untuk mengisolasi turbin dari supply uap air pada keadaan darurat untuk menghindari kerusakan atau *overspeed*. *Implus Stage* Adalah bagian sudu turbin tingkat pertama, terdapat 116 sudu didalamnya.

9. *Balance Piston*

Pada turbin uap, ada 50% gaya reaksi dari sudu yang berputar menghasilkan gaya aksial terhadap sisi belakang dari silinder pertama turbin, gaya inilah yang perlu dilawan oleh sistem *balance piston*.

10. *Moving Blade*

Adalah beberapa sudu yang berfungsi menerima dan merubah arah energi steam yang masuk menjadi energi kinetik yang akan memutar generator.

11. Governor

Berfungsi untuk mengatur putaran dari turbin uap dengan cara mengatur jumlah masuknya aliran *fluida*.

12. *Stasionary Blade*

Adalah bagian sudu turbin yang berfungsi untuk menerima dan mengarahkan kemana selanjutnya steam yang masuk.

13. *Steam chest* (katup utama)

Adalah titik pertemuan antara pipa uap utama dengan saluran uap masuk turbin fungsi utama steam chest adalah sebagai wadah untuk menempatkan katup pengatur governor untuk mengontrol aliran steam ke turbin.

#### 14. Main Oli *Pump*

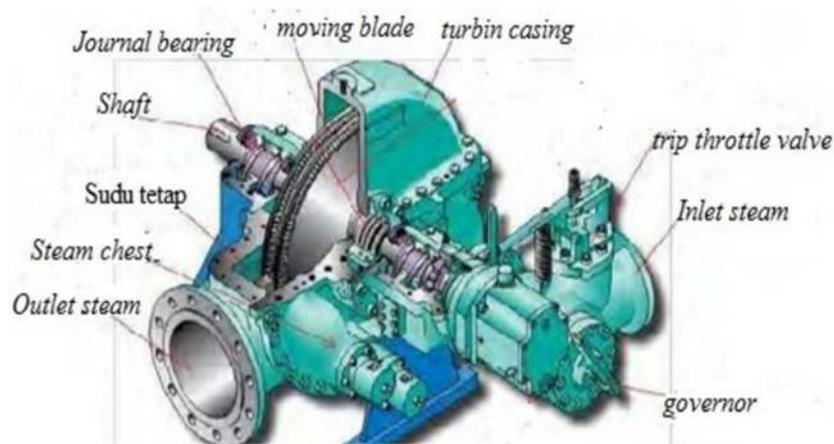
Adalah bagian turbin yang berfungsi sebagai pemompa oli dari tangki yang selanjutnya disalurkan menuju bagian – bagian yang berputar pada turbin.

#### 15. *Labirinth Ring*

Adalah bagian turbin yang mempunyai fungsi sama dengan gland packing, yaitu menyekat apabila terjadi kebocoran baik uap ataupun oli.

#### 16. *Reducing Gear*

Adalah salah satu bagian turbin yang biasanya dipasang pada turbin kapasitas besar, berfungsi untuk menurunkan putaran poros rotor dari 5500 rpm menjadi 1500 rpm.



**Gambar 2. 5** Komponen Turbin Uap

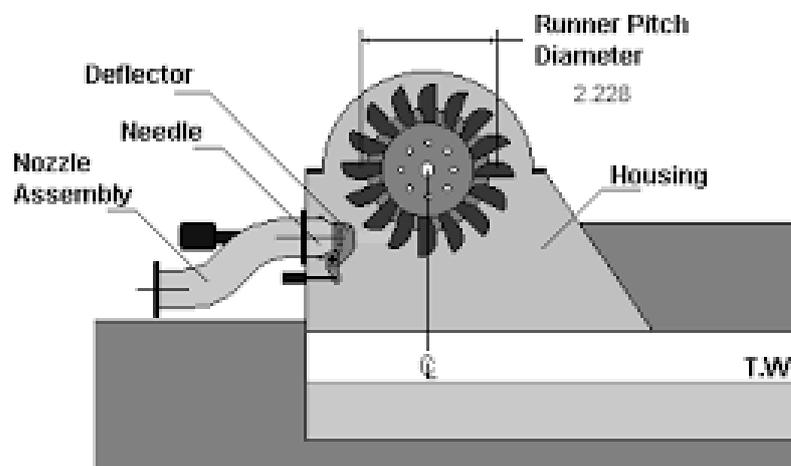
### 2.4.1. Prinsip Kerja Turbin Uap

Prinsip turbin uap adalah menerima energi kinetik dari uap *superheated* (uap kering) yang dikeluarkan dari nosel, sehingga bilah turbin didorong atau digerakan secara miring. Singkatnya, prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut:

1. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat keluar dari sudu turbin, artinya sudu yang sedang bekerja hanya menyerap sebagian energi kinetik uap, sehingga digunakan sisa energi kinetik pada saat keluar sudu turbin, sehingga turbin dilengkapi dengan beberapa baris sudu yang bergerak. Sebelum memasuki baris kedua dari sudu-sudu penggerak, sederet sudu tetap (sudu-sudu pemandu) dipasang antara baris pertama dan baris kedua

untuk mengubah arah kecepatan uap sehingga uap dapat memasuki baris kedua dengan arah yang benar.

2. tekanan dari uap dirubah menjadi energi kinetis. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel lebih kecil dari pada masuk ke dalam nosel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk kedalam nosel. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin itu dibelokkan kearah mengikuti lengkungan dari sudu turbin, perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin.
3. Kecepatan uap saat meninggalkan baris sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang digunakan untuk mendorong sudu turbin dapat dimanfaatkan secara optimal. Dengan demikian efisiensi kecil. turbin menjadi lebih tinggi dikarenakan energi yang tidak termanfaatkan (Hadi, 2021).



**Gambar 2. 6** Prinsip Kerja Turbin

#### **2.4.2. Faktor Faktor Turbin Uap**

Turbin Uap adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama pembangkit listrik jenis ini adalah Generator yang di hubungkan ke turbin dimana untuk memutar turbin diperlukan energi kinetik dari uap panas atau kering. Pembangkit listrik tenaga uap

menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu-bara dan minyak bakar serta MFO untuk start awal. Sementara itu ada beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas uap itu sendiri untuk menjamin keandalan peralatan dan efisiensi dalam pengoperasian antara lain :

1. Jumlah beban listrik yang digunakan : Semakin banyak beban listrik yang digunakan, semakin tinggi pula kapasitas turbin yang di perlukan untuk menggerakkan generator listrik.
2. Jenis beban listrik : Beban listrik terbagi menjadi dua yaitu beban resistif dan beban induktif. Beban resistif seperti lampu dan kipas membutuhkan daya listrik relatif kecil, sedangkan beban listrik induktif seperti mesin industry dan motor listrik yang membutuhkan daya listrik yang lebih besar.
3. Kondisi turbin : Kondisi turbin yang sudah tua dapat mengakibatkan turbin tidak mampu menghasilkan kapasitas listrik yang diinginkan.
4. Ketersediaan bahan bakar : Turbin 800 kW pada PTPN IV Unit PKS Berangir menggunakan bahan bakar cangkang kelapa sawit. Ketersediaan bahan bakar kurang dapat mempengaruhi penggunaan turbin dan kapasitas turbin yang di hasilkan.
5. Perubahan cuaca : Pada saat cuaca buruk seperti hujan lebat atau angin kencang dapat mengalami penurunan kapasitas listrik yang dihasilkan.
6. Sistem manajemen pemakaian listrik : Sistem manajemen pemakaian listrik yang baik dapat membantu memaksimal penggunaan turbin dan mengoptimalkan kapasitas listrik yang dihasilkan.
7. Perawatan dan pemeliharaan : Perawatan dan pemeliharaan yang baik terhadap turbin dapat membantu umur turbin dan meningkatkan efisiensi penggunaan kapasitas turbin.
8. Faktor lingkungan seperti suhu udara dan kelembapan dapat mempengaruhi efisiensi turbin dan penggunaan kapasitas listrik yang di hasilkan.
9. Kondisi jaringan listrik : Kondisi jaringan listrik yang kurang baik dapat mempengaruhi penggunaan turbin dan kapasitas listrik yang dihasilkan.
10. Kebutuhan produksi : Kebutuhan produksi pabrik pada setiap waktu dapat mempengaruhi pemakaian beban dan kapasitas penggunaan turbin.

### 2.4.3. Spesifikasi Turbin di PTPN IV Unit PKS Berangir

Turbin *Shinko* adalah turbin uap yang diproduksi oleh perusahaan Jepang bernama *Shinko Ind. Ltd.* Turbin ini digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pembangkit listrik, industri kimia, dan industri kertas.

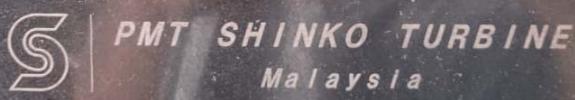
Turbin *Shinko* tersedia dalam berbagai ukuran dan kapasitas, mulai dari 500 kW hingga 50.000 kW. Turbin ini dirancang untuk memberikan efisiensi dan daya tahan yang tinggi, serta mudah dalam pemeliharaan dan pengoperasian. Turbin *Shinko* menggunakan teknologi terkini untuk menghasilkan listrik dengan biaya yang lebih rendah dan lebih ramah lingkungan.

Turbin *Shinko* dirancang dengan kontrol yang canggih untuk mengoptimalkan operasi dan kinerja. Turbin ini juga dilengkapi dengan sistem pelumasan dan pendinginan yang efektif untuk memperpanjang umur pakai dan menjaga performa yang optimal. Selain itu, Turbin *Shinko* dilengkapi dengan sistem keselamatan yang tinggi untuk mencegah kerusakan dan kecelakaan saat operasi. Dalam penggunaannya, Turbin *Shinko* dapat dioperasikan dengan berbagai jenis bahan bakar, seperti batubara, gas alam, dan minyak. Hal ini membuat turbin ini sangat fleksibel dan dapat digunakan dalam berbagai kondisi dan lingkungan berbeda.

Adapun Spesifikasi Turbin di PTPN IV Unit PKS Berangir sesuai gambar dibawah ini yaitu :

- *Model* : RB4M
- *Output* : 800 kW
- *Steam Press* : 18 kg/cm<sup>2</sup>
- *Steam Temp* : 240 °C
- *Turbine Speed* : 5294 rp m
- *Output Shaft Speet* : 1500 rpm
- *Weight* : 5990 kg

GENERATOR TURBINE			
MODEL	RB4M	SERIAL NO.	1133818
OUTPUT	800 kW	TURBINE SPEED	5294 rpm
STEAM PRESS.	18 kg/cm <sup>2</sup> G	OUTPUT SHAFT SPEED	1500 rpm
STEAM TEMP.	240 °C	WEIGHT	5990 kg
EXHAUST PRESS.	3.2 kg/cm <sup>2</sup> G	DATE	07-2018



**Gambar 2. 7** Spesifikasi Turbine Uap Di PTPN IV

## 2.5. Generator

Generator AC (*Alternating Current*) yang akan dibahas adalah generator yang termasuk jenis mesin serempak (mesin sinkron) dimana frekuensi listrik yang dihasilkan sebanding dengan jumlah kutup dan putaran yang dimilikinya. Listrik yang dihasilkan adalah listrik arus bolak balik (listrik AC). Mesin penggeraknya dapat berasal dari tenaga air, tenaga uap, mesin diesel, dan sebagainya. Generator AC banyak kita jumpai pada pusat-pusat listrik (dengan kapasitas yang relatif besar). Disini umumnya generator AC disebut dengan alternator atau generator saja. Selain generator AC dengan kapasitas yang relatif besar tersebut, kita mengenal pula generator dengan kapasitas yang relatif kecil. Misalnya generator yang dipakai untuk penerangan darurat dan untuk penerangan daerah-daerah terpencil. Generator tersebut sering disebut *home light* atau generator set (Pangkung et al., 2021).

Dibandingkan dengan generator DC (*Direct Current*), generator AC lebih cocok untuk pembangkit tenaga listrik berkapasitas besar. Hal ini didasarkan atas pertimbangan- pertimbangan, antara lain:

1. Timbulnya masalah komutasi pada generator DC
2. Timbulnya persoalan dalam hal menaikkan atau menurunkan tegangan pada listrik DC. Hal ini menimbulkan persoalan untuk hantaran dalam

pengiriman tenaga listrik (transmisi atau distribusi), masalah penampang kawat, tiang transmisi dan rugi- rugi.

3. Listrik AC relatif lebih mudah untuk diubah menjadi listrik DC.
4. Masalah efisiensi mesin dan lain-lain pertimbangan. Konstruksi generator AC lebih sederhana dibandingkan generator DC.

Adapun beberapa bagian-bagian terpenting dari generator AC adalah sebagai berikut:

1. Rangka Stator, dibuat dari besi tuang. Rangka stator merupakan rumah dari bagian-bagian generator yang lain.
2. Stator, bagian ini tersusun dari plat-plat (seperti yang digunakan juga pada jangkar dari mesin- mesin arus searah) stator yang mempunyai alur-alur sebagai tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator berfungsi sebagai tempat terjadinya GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi.
3. Rotor, rotor merupakan bagian yang berputar. Pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitannya yang dialiri arus searah, melewati cincin geser dan sikat-sikat.
4. *Slip Ring* atau Cincin Geser, dibuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. *Slip ring* ini berputar bersama-sama dengan poros rotor. Jumlah *slip ring* ada dua buah yang masing-masing *slip ring* dapat menggeser sikat arang yang masing- masing merupakan sikat positif dan sikat negatif, berguna untuk mengalirkan arus penguat magnet ke lilitan magnet pada rotor.
5. Generator Penguat, generator penguat adalah suatu generator arus searah yang dipakai sebagai sumber arus. Biasanya yang dipakai adalah dinamo shunt. Generator arus searah ini biasanya dikopel terhadap mesin pemutarnya bersama generator utama. Akan tetapi sekarang banyak generator yang tidak menggunakan generator arus searah (dari luar) sebagai sumber penguat, sumber penguat diambil dari GGL sebagian kecil belitan statornya. GGL tersebut ditransformasikan kemudian disearahkan dengan penyearah elektronik sebelum masuk pada bagian penguat.

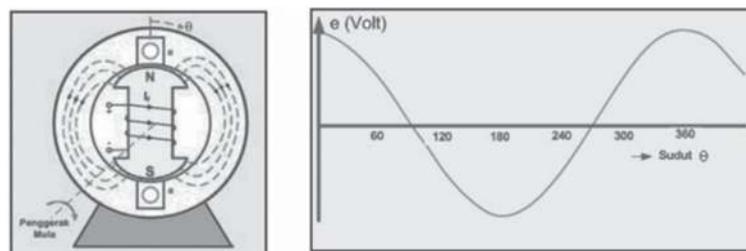
### 2.5.1. Prinsip Kerja Generator

Kecepatan rotor dan frekuensi dari tegangan yang dibangkitkan berbanding secara langsung pada Gambar Memperlihatkan Prinsip kerja dari sebuah generator AC dengan dua kutub, dan dimisalkan hanya memiliki satu lilitan yang terbuat dari dua penghantar secara seri, yaitu penghantar  $a$  dan  $a'$ .

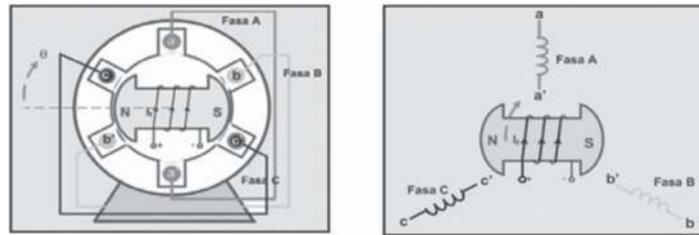
Lilitan seperti ini disebut Lilitan terpusat, dalam generator sebenarnya terdiri dari banyak lilitan dalam masing-masing fasa yang terdistribusi pada masing-masing alur stator dan disebut Lilitan terdistribusi. Diasumsikan rotor berputar searah jarum jam, maka flux medan rotor bergerak sesuai lilitan jangkar. Satu putaran rotor dalam satu detik menghasilkan satu siklus per detik atau 1 *Hertz* (Hz). Bila kecepatannya 60 *revolution* per menit (rpm), frekuensi 1 Hz.

Untuk frekuensi  $f = 60$  Hz, maka rotor harus berputar 3600 Rpm. Untuk kecepatan rotor  $n$  rpm, rotor harus berputar pada kecepatan  $n/60$  revolution per detik (rps). Bila rotor mempunyai lebih dari 1 pasang kutub, misalnya  $P$  kutub maka masing-masing revolution dari rotor menginduksikan  $P/2$  siklus tegangan dalam lilitan stator. Frekuensi dari tegangan induksi sebagai sebuah fungsi dari kecepatan rotor.

Untuk generator sinkron tiga fasa, harus ada tiga belitan yang masing-masing terpisah sebesar 120 derajat listrik dalam ruang sekitar keliling celah udara seperti diperlihatkan pada kumparan  $a - a'$ ,  $b - b'$  dan  $c - c'$  pada gambar.



**Gambar 2. 8** Diagram Generator AC Satu fasa 2 kutub



**Gambar 2. 9** Diagram Generator AC Tiga fase 2 kutub

Masing-masing lilitan akan menghasilkan gelombang Fluksi sinus satu dengan lainnya berbeda 120 derajat listrik. Dalam keadaan seimbang besarnya fluksi sesaat :  $\Phi_A = \Phi_m \cdot \sin \omega t$   $\Phi_B = \Phi_m \cdot \sin (\omega t - 120^\circ)$   $\Phi_C = \Phi_m \cdot \sin (\omega t - 240^\circ)$  (Sunarlik, 2017).

### 2.5.2. Generator Berbeban

Bila Generator diberi beban yang berubah-ubah maka besarnya tegangan terminal V akan berubah-ubah pula. Hal ini disebabkan adanya kerugian kerugian pada:

- Resistansi jangkar  $R_a$
- Reaktansi bocor jangkar  $X_L$
- Reaksi Jangkar  $X_a$

#### 1. Resistansi Jangkar

Resistansi jangkar/fasa  $R_a$  menyebabkan terjadinya pelanggaran tegangan jatuh (Kerugian tegangan) / fasa  $I \cdot R_a$  yang sephasa dengan arus jangkar.

#### 2. Reaktansi Bocor Jangkar

Saat arus mengalir melalui penghantar jangkar, sebagian fluk yang terjadi tidak mengimbas pada jalur yang telah ditentukan, hal seperti ini disebut fluk bocor.

#### 3. Reaksi Jangkar

Adanya arus yang mengalir pada kumparan jangkar saat generator akan dibebani menimbulkan fluksi jangkar ( $\phi_A$ ) yang berintegrasi dengan fluksi yang dihasilkan pada kumparan medan rotor ( $\phi_F$ ), sehingga akan dihasilkan suatu fluksi resultan sebesar :

$$\phi_R = \phi_F + \phi_A$$

Interaksi antara kedua fluksi ini disebut sebagai reaksi jangkar, seperti yang diperlihatkan pada

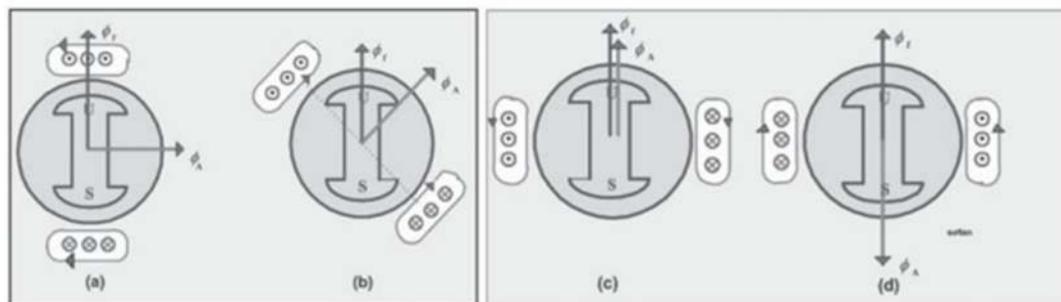
Gambar 2.10 yang mengilustrasikan syarat reaksi jangkar untuk jenis beban yang berbeda beda.

Gambar 2.10a, memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat generator dibebani tahanan (resistif) sehingga arus jangkar  $I_a$  sephase dengan ggl  $E_b$  dan  $\phi_A$  akan tegak lurus terhadap  $\phi_F$ .

Gambar 2.10b, memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat generator dibebani kapasitif, sehingga arus jangkar  $I_a$  menyelubungi ggl  $E_b$  sebesar  $\theta$  dan  $\phi_A$  terbelakang terhadap  $\phi_F$  dengan sudut  $(90 - \theta)$ .

Gambar 2.10c, memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat dibebani kapasitif murni yang mengakibatkan arus jangkar  $I_a$  menyedot ggl  $E_b$  sebesar  $90^\circ$  dan  $\phi_A$  akan memperkuat  $\phi_F$  yang berpengaruh terhadap magnetan.

Gambar 2.10d, memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat arus diberi beban induktif murni sehingga mengakibatkan arus jangkar  $I_a$  terbelakang dari ggl  $E_b$  sebesar  $90^\circ$  dan  $\phi_A$  akan memperlemah  $\phi_F$  yang berpengaruh terhadap magnetan.



**Gambar 2. 10** Kondisi reaksi jangkar

### 2.5.3. Spesifikasi Generator pada PTPN IV Unit PKS Berangir

*Stamford* adalah merek turbin generator listrik yang di produksi oleh Cummins Generator *Technologies*, yang berkantor pusat Inggris. Meskipun berkantor pusat di Inggris, perusahaan ini memiliki fasilitas produksi di beberapa negara di seluruh dunia, termasuk Amerika Serikat, India, China, dan Meksiko.

Saat ini, *Stamford* merupakan merek terkemuka dalam industri generator listrik, dengan produk yang digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pembangkit listrik, industri, komersial, dan maritime. *Stamford* terkenal Karena

produk-produknya yang berkualitas tinggi, andal, dan efisien dalam menghasilkan energi listrik.

Adapun spesifikasi dari turbin uap yang berada di PTPN IV Unit PKS Berangir sesuai dengan gambar 2. yaitu :

- Nomor Seri : X18C115706
- Rangka/ Inti : HC.1634J2
- Peringkat Dasar kVA : 1000,0 (BR)
- Peringkat Dasar kW : 800,0
- Ampere BR : 1519,4
- Frekuensi : 50 Hertz
- RPM : 1500
- Tegangan : 380
- Fase : 3
- Faktor daya : 0,8
- Tegangan Eksitasi : 58,0
- Arus Eksitasi : 3,4
- Kelas isolasi : Kelas H
- Suhu Sekitar : 40 C
- Kenaikan Suhu : 125 K
- Klasifikasi Termal : 180 (H)
- Jenis Perlindungan : IP23
- Belitan Stator : 312
- Sambungan Stator : Star

BEARING TYPE NDE TYPE DE PALIER LNA LAGERGROESSE TIPO DI CUSCINETTO 6317 C3 TIPO DE COJINETE		<b>STAMFORD</b> AC GENERATORS 450-15473G	
GREASE TYPE KLUBER TYPE DE GRAISSE FETT ASONIC TIPO DI GRASSO GHY72 TIPO DE GRASA		GREASE QUANTITY 60cm <sup>3</sup> QUANTITÉ DE GRAISSE FETTMENGE GRASSO QUANTITA (53 g) CANTIDAD DE GRASA	
RE-LUBRICATION FREQUENCY FREQUÉNCIE DE GRAISSE NACHSCHMIERUNG INTERVAL RIF-LUBRIFICAZIONE FREQUENZA FRECUENCIA DE RELUBRICACION		HOURS HEURES STUNDEN ORE HORAS 4000-4500	

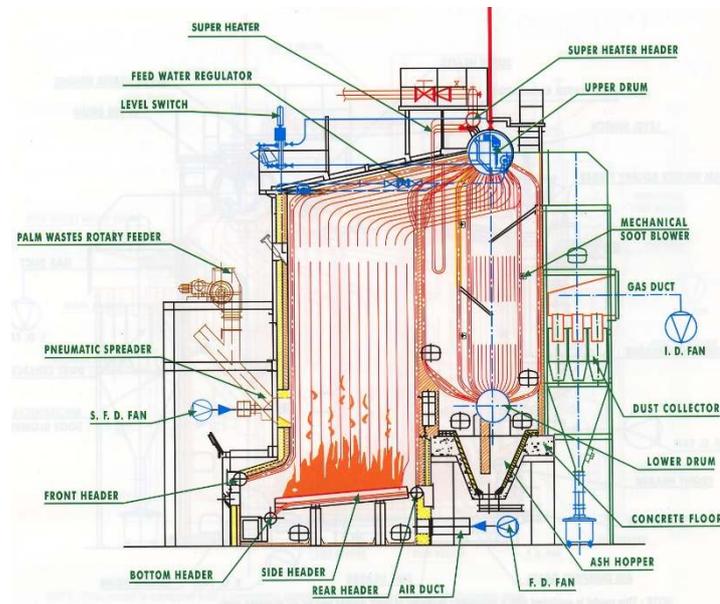
  

<b>STAMFORD</b>			
SERIAL NUMBER	X18C115706	DUTY	CONTINUOUS (S1)
FRAME/CORE	HC 1634J2	EXCITATION VOLTAGE	58.0
BASE RATING KVA	1000.0(BR)	EXCITATION CURRENT	3.4
BASE RATING KW	800.0	INSULATION CLASS	CLASS H
AMPERES BR	1519.4	AMBIENT TEMPERATURE	40 °C
FREQUENCY	50 HERTZ	TEMPERATURE RISE	125 K
RPM	1500	THERMAL CLASSIFICATION	180(H)
VOLTAGE	380	ENCLOSURE	IP23
PHASE	3	STATOR WINDING	312
PF	0.80	STATOR CONNECTION	STAR
BS 5000, PART 3 IEC 60034-1 ISO 8538-3 NEMA MG 1-32, BS EN 60034-1			

**Gambar 2. 11** Spesifikasi Generator di PTPN IV

## 2.6. Ketel Uap (*Boiler*)

Dalam pabrik kelapa sawit ketel uap (*Boiler*) merupakan jantung dari sebuah pabrik kelapa sawit. Dimana, ketel uap ini lah yang menjadi sumber tenaga dan sumber uap yang akan dipakai untuk mengolah kelapa sawit. Ketel uap merupakan suatu alat konversi energi yang merubah air menjadi uap dengan cara pemanasan dan panas yang dibutuhkan air untuk penguapan diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada ruang bakar ketel uap. Uap (energi kalor) yang dihasilkan ketel uap dapat digunakan pada semua peralatan yang membutuhkan uap di pabrik kelapa sawit, terutama turbin. Turbin disini adalah turbin uap dimana sumber penggerak generatornya adalah uap yang dihasilkan dari ketel uap. Selain turbin, alat lain di pabrik kelapa sawit yang membutuhkan uap seperti di *sterilizer* (alat untuk memasak TBS) dan stasiun pemurnian minyak (klarifikasi). Oleh karena itu kualitas uap yang dihasilkan harus sesuai dengan kebutuhan yang ada di pabrik kelapa sawit tersebut, karena jika tidak akan mengganggu proses pengolahan dipabrik kelapa sawit.



**Gambar 2. 12** Komponen *Boiler*

*Boiler* merupakan unit plant yang penting di industri, berfungsi mengubah fasa cair ke fasa uap hingga dihasilkan uap kering yang digunakan untuk memutar turbin. Pada *boiler* terdapat beberapa alat/bagian utama yaitu :

1. Ruang Bakar (*dapur/furnace*)

Sebagai tempat pembakaran bahan bakar (cangkang dan serabut) untuk menghasilkan gas panas. Yang memiliki lantai (*fire grate*) berupa susunan roster yang dibuka tutup dengan pneumatic atau model *fixed grate* mempunyai lubang- lubang (*deashing nozzle*) untuk tempat lewatnya udara pembakaran dari *Forced Draft Fan* (FD Fan). Lubang tidak boleh tumpat agar pembakaran dapat sempurna yang dilengkapi *firing door* pada bagian depan yang berfungsi untuk :

- a. Mengatur proses pembakaran.
- b. Pengeluaran abu, gumpalan kerak sisa-sisa pembakaran.
- c. Jalan masuk untuk inspeksi dan perawatan.

Ruang bakar dikelilingi oleh tube-tube air (*water wall*) yang akan menyerap panas untuk produksi *steam*.

2. Drum Atas (*Upper Drum*)

Material drum biasanya terbuat dari *low carbon steel* dengan campuran (*chrome, vanadium, molybdenum*) untuk menghindari *elongation* yang berlebihan. Fungsi dari drum ini adalah:

- a. Menampung air umpan untuk didistribusikan ke pipa air pembangkit *steam*.
- b. Menampung uap dari pipa pembangkit dan setelah uap dan titik air dipisahkan pada drum selanjutnya uap dialirkan ke *header* uap untuk didistribusikan ke turbin.

3. *Header* Air Umpan

Merupakan bejana baja berbentuk silinder dipasang di sekeliling dapur dan dibawah *fire grade* pada dinding depan *boiler*. Berfungsi untuk menampung air umpan dan selanjutnya didistribusikan ke pipa air pembangkit uap (*water wall*). *Header* dilengkapi dengan:

- a. *Hand Hole* untuk inspeksi dan perawatan.
- b. *Pipa Drain* untuk pembersihan kotoran-kotoran yang terakumulasi di *header-Blow Down*.

4. *Header* Uap

*Header* uap berfungsi sebagai penampung uap dari pipa air pembangkit uap dan selanjutnya mendistribusikan ke drum uap (drum atas). Biasanya berbentuk bejana silinder, tetapi ada juga yang berbentuk persegi empat.

5. Tube Air Pembangkit Uap (*Generating Bank*)

*Generating bank* berfungsi mengubah air menjadi uap dengan pemanasan gas panas dari dapur/*furnace*. Tube air pembangkit uap dipasang di sekeliling ruang dapur (*water wall*) dan di atas ruang dapur. Untuk menambah kapasitas uap, tube air pembangkit uap ini juga dipasang di bagian sebelah belakang dapur. Susunan pemasangan tube di desain untuk dapat menerima panas semaksimal mungkin.

6. Pipa Air Turun (*Downcomer Pipe*)

Pipa ini tidak mendapatkan pemanasan dari gas panas. Pipa memiliki fungsi untuk mengalirkan umpan *boiler* dari :

- a. Drum atas ke header (*mechmar boiler*).
- b. Drum atas ke drum bawah (*takuma boiler*).
- c. Drum bawah ke header (*takuma boiler*).

7. *Tube Superheater*

Berfungsi untuk menaikkan temperatur uap kering (*saturated steam*) sampai temperatur uap *superheat* (280 C – 300 C). *Tube superheater* berisi uap yang berasal dari drum atas lalu dipanaskan gas panas dan selanjutnya didistribusikan ke header uap untuk seterusnya digunakan oleh turbin. Biasanya berbelok-belok yang mana ujung awal dihubungkan dengan uap drum atas sedang ujungnya berhubungan dengan *header steam*. Material pipa terbuat dari *low carbon steel* dengan campuran *molybdenum*

8. *Multicyclone Dust Collector*

Berfungsi untuk menangkap abu yang terbawa gas panas agar tidak langsung terbang ke udara. Terdiri dari susunan *cone* yang akan menangkap abu berdasarkan prinsip gaya sentrifugal dimana abu yang lebih berat akan jatuh ke bawah dan gas panas akan dibuang ke cerobong. Abu yang ditangkap akan turun ke hopper dan penurunan ke bak penampung diatur oleh *rotary valve*.

9. Cerobong Asap (*Chimney*)

Berfungsi untuk membuang gas sisa pembakaran dan menurunkan temperatur gas panas dari dapur (1000 C) tersebut sebelum dibuang ke udara (250 C – 300 C).

10. *Ekonomiser*

Berfungsi untuk menaikkan temperatur air umpan dengan memanfaatkan sisa gas panas yang dialirkan melau *exchanger* dan air umpan *boiler* dialirkan melalui peralatan ini. Keuntungan dari ekonomiser adalah:

- a. Mengurangi tegangan pada *boiler* pada saat air umpan dimasukkan (mengurangi perbedaan temperatur air umpan dengan air pada drum *boiler*).
- b. Meningkatkan efisiensi *boiler*.
- c. Pemakaian bahan bakar yang lebih efisien.

11. Pemanas Udara (*Air Heater*)

Berfungsi untuk menaikkan temperatur pembakaran pada dapur *boiler*. Sisa gas panas dari ekonomiser kemudian dilakukan lagi melalui *heat exchanger* (penukar panas) yang dipasangkan pada *ducting force draft fan* (FD Fan) untuk menaikkan temperatur udara pembakaran yang dihembuskan pada dapur.

12. Insulasi/*Refractory*

Berfungsi untuk mengurangi panas yang hilang yang disebabkan tingginya temperatur pada dapur *boiler* ( $\pm 1200$  C) serta menjaga keamanan lingkungan dan efisiensi *boiler*. Material *refractory* terbuat dari bahan castable/ramable digunakan diantara pipa dan dikunci/dikuatkan dengan stud.

13. Peralatan Pemisah Air dan Uap

Berfungsi untuk memisahkan butir-butir air yang masih terbawa oleh uap saat memasuki drum bagian atas yang terletak pada bagian dalam drum. Ada beberapa tipe yang umum digunakan:

a. *Dry Pipe*

Uap masuk secara tangensial, karena air lebih berat dari uap, pemisahan terjadi oleh gaya sentrifugal.

b. *Chevron Drier*

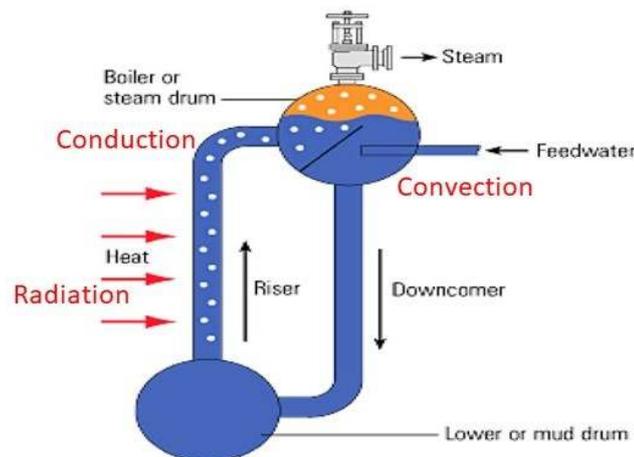
Saat *steam* masuk, air yang terikut akan mengenai *plate* beralur dan mengalir ke bawah.

c. *Cyclone Separator*

Uap dimasukkan ke beberapa *cyclone* secara tangensial sehingga akibat kecepatan aliran air terpisah disebabkan oleh gaya sentrifugal.

### 2.6.1. Prinsip Kerja Ketel Uap (*Boiler*)

*Boiler* atau ketel uap adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinyu di dalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan *boiler* adalah uap superheat dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. *Boiler* yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut dengan *water tube boiler*.



**Gambar 2. 13** Prinsip Kerja *Boiler*

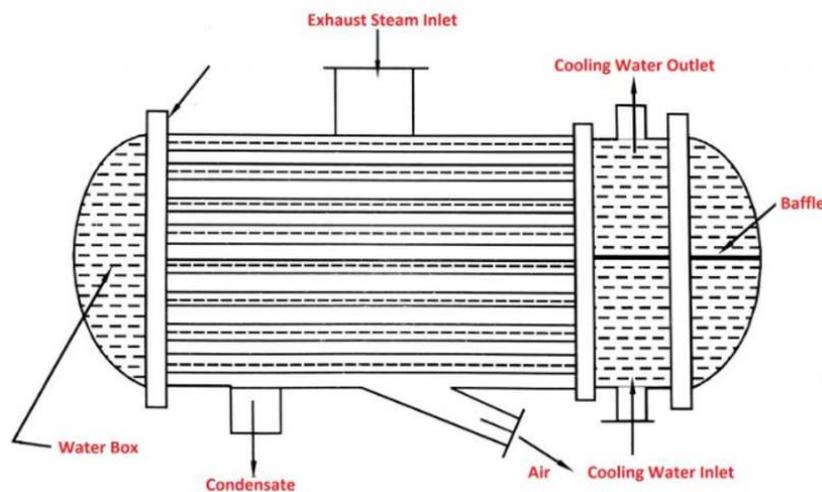
Pada unit pembangkit, *boiler* juga biasa disebut dengan *steam generator* (pembangkit uap) mengingat arti kata *boiler* hanya pendidih, sementara pada kenyataannya dari *boiler* dihasilkan uap superheat bertekanan tinggi (Ridho Fadilah, 2014).

### 2.7. Kondensor

Kondensor merupakan peralatan untuk mengembunkan kembali uap yang telah di dimanfaatkan untuk memutar turbin uap. Hal ini di perlukan untuk menghemat sumber air yang ada di sekitarnya, kemurnian air yang digunakan

dalam sistem turbin uap agar tidak terjadi pengendapan maupun kotoran-kotoran yang dapat merusak. Sebagai pendingin kondensor biasanya menggunakan air dingin seperti air sungai, laut atau air tanah yang sudah diproses melalui *water treatment* terlebih dahulu.

Gambar 2.14 Sistem Kondensor terdiri dari banyak bagian alat / komponen yang bekerja bersama-sama. Supaya kondensor bisa bekerja normal, maka semua komponen kondensor harus bisa bekerja dengan maksimal. Kerusakan atau masalah pada salah satu komponen kondensor akan menyebabkan gangguan pada kondensor bahkan bisa menyebabkan trip Turbin Uap (Wahyudi, 2019).



**Gambar 2. 14** Kondensor

1. Pipa Kondensor ( *Condenser Tube* )  
 Berfungsi Untuk menyerap panas dari uap bekas turbin sehingga temperaturnya (suhu) uap turun dan berubah fasa menjadi air (cair). Terletak di bagian dalam kondensor dan terdiri dari banyak (ratusan/ribuan) pipa-pipa dengan diameter kecil yang disusun rapat dan biasanya tersusun secara *horizontal*. Air pendingin akan dimasukkan ke dalam pipa kondenser dari bagian bawah (*inlet*) dan dikeluarkan dari bagian atas (*outlet*). Sedangkan uap bekas Turbin akan bersentuhan dengan pipa kondensor bagian luar.
2. *Cooling Water Pump* (CWP)  
 Adalah sebuah pompa air yang mengalirkan air pendingin ke bagian dalam pipa kondensor. Air pendingin bisa berasal dari air tawar (sumur, sungai, danau,

rawa dll) atau air asin (air laut). Tergantung dari kapasitas Turbin uap, semakin besar kapasitasnya maka akan memerlukan air dalam jumlah yang banyak dan biasanya menggunakan air laut yang melimpah. Air pendingin kondensor bisa digunakan / disirkulasikan sekali saja setelah itu dibuang keluar atau bisa digunakan berulang kali tapi harus memiliki alat tambahan untuk menjaga temperatur air pendingin tetap terjaga sesuai desain kondensor. Biasanya akan dilengkapi dengan suatu alat yang bernama Tower Pendingin (*Cooling Tower*).

### 3. Pompa Vakum

Pompa vakum berfungsi untuk menarik gas-gas yang tidak diperlukan keluar dari Kondensor. Kegagalan dalam membuang gas-gas tersebut akan membuat tekanan di dalam Kondensor turun/jelek/positif (*Drop*) yang akan menyebabkan uap bekas Turbin mengalami kesulitan mengalir ke kondensor dan bisa menyebabkan harus diturunkannya beban turbin atau bahkan membuat turbin uap trip.

Pompa Vakum akan mengalirkan air dari tangki ejektor melewati suatu nozzle berkecepatan tinggi dan dilewatkan ke saluran pipa yang sempit yang terhubung ke dalam Kondensor. Akibatnya gas-gas di dalam Kondensor akan tertarik dan dibuang bersama air ejektor ke udara luar (atmosfer).

### 4. *Hotwell*

*Hotwell* adalah suatu alat yang terdapat di bawah kondenser namun masih menjadi satu dengan Kondensor dan berfungsi menampung air kondensat.

### 5. Pompa Kondensat ( *Condensate Pump* )

Berfungsi untuk memompakan air Kondensat di *Hotwell* ke Tangki *Deaerator* (*Deaerator Tank*).

### 6. System Uap Perapat ( *Steam Seals System* )

Berfungsi untuk memberikan uap perapat pada Labirin Turbin agar udara luar tidak masuk ke dalam kondensor. Uap bertekanan rendah akan memenuhi labirin yang berfungsi sebagai perapat sehingga hanya uap yang akan di hisap vakum kondensor.

### 7. Parameter Kontrol dan Instrumen

Berfungsi untuk mengetahui / membaca tekanan dan temperatur di dalam ruang kondensor.

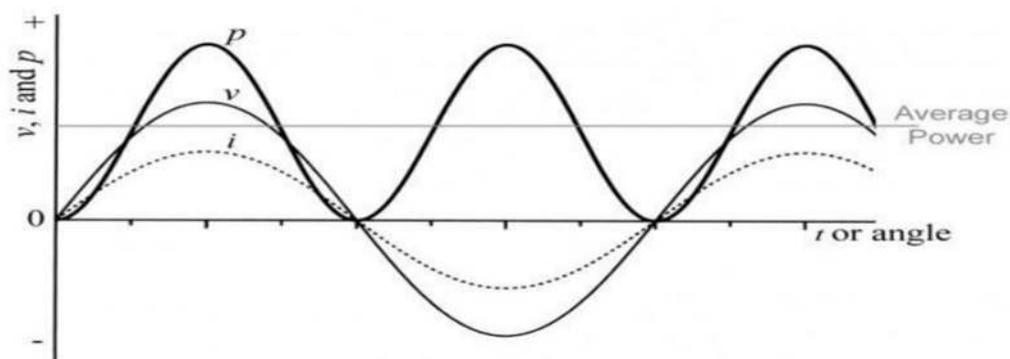
## 2.8. Beban Listrik

Beban listrik adalah segala sesuatu yang ditanggung oleh pembangkit listrik atau segala yang membutuhkan tenaga listrik. Pemilihan beban listrik akan mempengaruhi pemakaian listrik. Pada kehidupan sehari-hari beban listrik mencakup peralatan listrik seperti lampu, televisi, kulkas, setrika, AC, kipas angin, dll. Beban listrik dikenal sebagai hambatan atau resistan pada suatu rangkaian listrik, yang mempunyai hubungan dengan tegangan dan arus listrik seperti yang disebutkan pada hukum ohm. Dimana arus berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatan, karena dapat menghalangi aliran arus.

### a. Beban Resistif (R)

Merupakan beban yang hanya terdiri dari komponen ohm (*resistance*). Alat listrik yang termasuk beban resistif bekerja berdasarkan prinsip *resistor*, sehingga arus listrik yang melewatinya akan terhambat dan akibatnya alat listrik tersebut akan menghasilkan panas. Beban resistif mencakup elemen pemanas (*heating element*) dan lampu pijar. Beban jenis resistif hanya mengonsumsi beban aktif dan mempunyai faktor daya bernilai satu. Secara matematis, beban resistif dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = V \times I$$

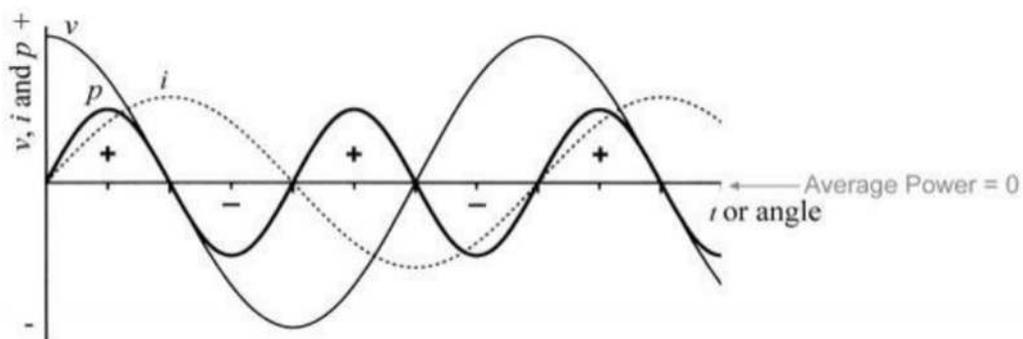


**Gambar 2. 15** Gelombang Listrik Beban *Resistif*

b. Beban Induktif (L)

Merupakan beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti *coil*, transformator dan solenoid. Beban induktif dapat mengakibatkan pergeseran fasa (phase shift) pada arus sehingga bersifat tertinggal (*lagging*) sebesar  $90^\circ$  terhadap tegangan. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis yang akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis induktif menyerap daya aktif dan daya reaktif. Contoh beban induktif di kehidupan sehari-hari yaitu motor listrik, mesin las listrik, lampu hemat energi, dll. Secara matematis, beban induktif dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

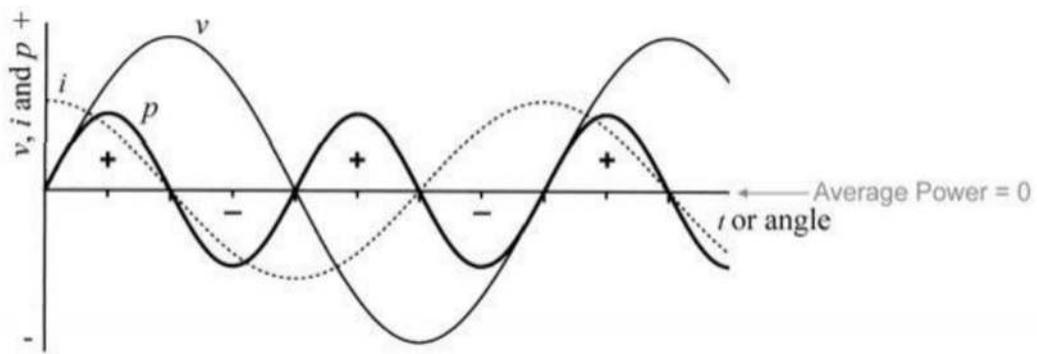


**Gambar 2. 16** Gelombang Listrik Beban Induktif

c. Beban Kapasitif (C)

Merupakan beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu rangkaian listrik. Hal ini dapat mengakibatkan arus mendahului tegangan (*leading*). Beban kapasitif menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Alat listrik yang termasuk jenis beban kapasitif adalah kapasitor atau kondensator. Secara matematis, beban kapasitif dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = V \times I \times \cos \phi$$



**Gambar 2. 17** Gelombang Listrik Beban Kapasitif

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini di laksanakan di PT. Perkebunan Nusantara IV (PTPN IV) Unit PKS Berangir yang terletak di Jalan Jalinsum, Simpang Marbau, Kec. Na IX-X, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.

#### 3.2. Jabwal Penelitian

Jabwal penelitian di PT. Perkebunan Nusantara IV (PTPN IV) Unit PKS Berangir Pada Bulan Januari 2023 saat pabrik beroperasi.

#### 3.3. Peralatan Penelitian

Bahan dan alat yang digunakan adalah pertama, alat dan mesin-mesin listrik yang digunakan pada proses produksi di PT.Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir. Kedua, peralatan yang digunakan untuk pengukuran dan pengolahan data, yaitu alat-alat ukur yang terpasang pada setiap mesin proses produksi. Ketiga, kamera digital dan seperangkat yaitu :

##### 1. *Control Panel*

Sebagai pendukung dari mesin-mesin listrik agar bisa beroperasi sebagaimana mestinya sesuai prinsip kerja kelistrikan. Mengamankan komponen listrik supaya terlindungi dari hal-hal apapun yang bisa mempengaruhinya.



**Gambar 3. 1** *Control Panel*

## 2. Tang Ampere Digital

Sebagai media alat untuk mengukur Arus (Beban)



Gambar 3. 2 Tang Ampere Digital

## 3. Buku dan Pulpen

Untuk menulis dan mencatat data yang sudah di dapatkan



Gambar 3. 3 Buku dan Pulpen

4. MCB (*Miniature circuit breaker*)

*Miniature circuit breaker* adalah sebuah komponen listrik yang berfungsi system proteksi atau pengaman didalam instalasi listrik, jika terjadi hubung singkat arus listrik atau sering disebut dengan korsleting dan jika dapat beban berlebih.



**Gambar 3. 4** MCB (*Miniature circuit breaker*)

5. Ampere Meter

Ampere meter adalah *metering* yang berfungsi mengukur besarnya arus yang mengalir ke beban pemakaian. Satuan dari arus listrik adalah ampere (A).

6. Volt Meter

Voltmeter adalah *metering* yang berfungsi mengukur beda potensial (tegangan) yang keluar dari generator, baik tegangan fasa per fasa ataupun fasa dengan netral. Satuan dari tegangan adalah volt (V).



**Gambar 3. 5** Ampere/Volt Meter

### **3.4. Teknik Pengumpulan Data**

Teknik pengumpulan data berisi peninjauan ke lokasi yang terkait guna mengumpulkan data dan mendapatkan data primer yang berupa foto-foto dokumentasi lokasi yang di tinjau dan wawancara langsung kepada sumber-sumber yang di anggap valid(EW, 2019).

#### **3.4.1. Data Primer**

Data primer adalah sumber data penelitian yang diperoleh secara langsung dari sumber aslinya yang berupa wawancara maupun hasil observasi dari suatu objek, kejadian atau pengujian (benda). Adapun data yang diambil dari PT. Perkebunan Nusantara (PTPN IV) Unit PKS Berangir yaitu :

1. Name Plat Turbin
2. Name Plat Generator
3. Volt
4.  $\cos \alpha$
5. Data Beban pada panel setiap stasiun pada MCB Induk pada beban puncak
6. Data Bahan Bakar

#### **3.4.2. Data Sekunder**

Data sekunder adalah sumber data penelitian yang diperoleh melalui media perantara atau secara tidak langsung berupa buku, jurnal, catatan, bukti yang

telah ada, atau arsip baik yang di publikasikan maupun yang tidak di publikasikan.

### 3.4.3. Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah analisis yang dilakukan di penelitian ini yaitu :

1. Melakukan Observasi di PTPN IV Unit PKS Berangir untuk mencari permasalahan di PKS Unit Berangir.
2. Melakukan Wawancara langsung di PTPN IV Unit PKS Berangir seperti wawancara pada karyawan, asisten teknik dan manager.
3. Pengambilan Data penelitian dengan menggunakan Tang Ampere Digital untuk mengambil beban dipanel di setiap MCB induk di setiap stasiun dilakukan pada bulan januari 2023 saat pabrik beroperasi.
4. Pengambilan Data tersebut diambil setiap hari saat pabrik sedang mengolah dan diambil dari jam 08:00 WIB – 17:00 WIB. Data tersebut di ambil satu jam sekali.
5. Setelah seluruh data sudah di dapatkan, data tersebut di analisa atau di hitung di antaranya menggunakan :
  - a. Mengitung daya yang digunakan pada PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir.

- Rumus Daya aktif (P), Daya Semu (S) dan Daya Reaktif (Q) Dapat dihitung dengan rumus :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \alpha$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Dimana :

- V adalah Tegangan Listrik (Volt)
- I adalah arus listrik (ampere)
- $\cos \alpha$  adalah faktor daya

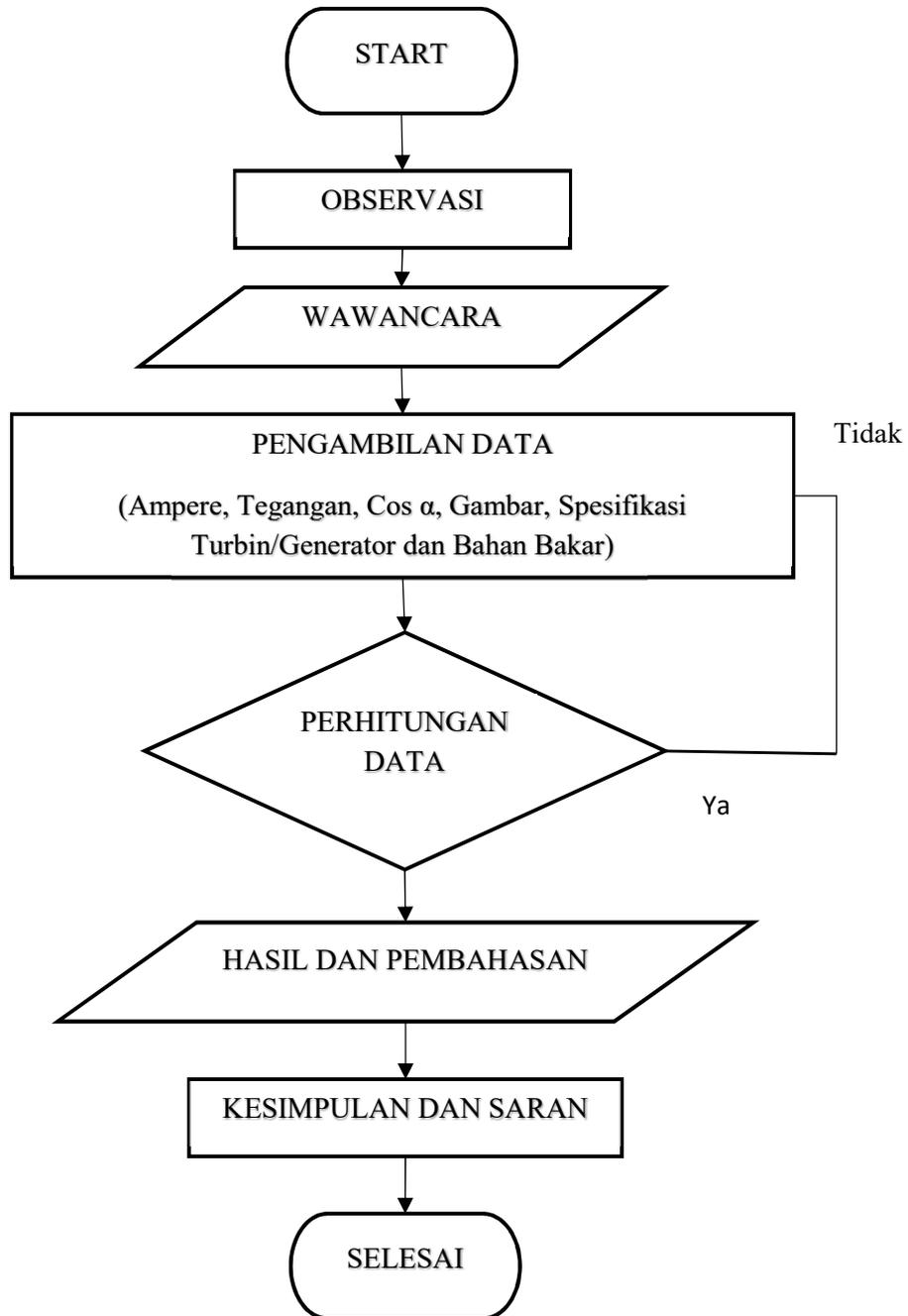
- Rumus Kebutuhan Energi dapat dihitung dengan rumus :

$$E = P \times t$$

Dimana :

- E adalah energi yang di butuhkan (Kilowatt/hour)
  - P adalah daya listrik (Kilowatt)
  - t adalah waktu penggunaan (jam)
  - Rumus kerugian daya dapat dihitung dengan rumus :
 
$$P_{Loss} = I^2 \times R$$
 Dimana :
    - $P_{Loss}$  adalah kerugian daya (watt)
    - I adalah arus listrik (ampere)
    - R adalah resistansi (ohm)
- b. Menghitung perbandingan kinerja pada bahan bakar biomasa dan bahan bakar minyak yang terdapat pada PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir.
6. Setelah menganalisa data tersebut tahap selanjutnya yaitu membuat kesimpulan dan saran sesuai hasil pembahasan yang telah di dapat.

### 3.5. Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3. 6** Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

#### 4.1. Tabel Data Beban

Berdasarkan hasil kunjungan lapangan saya mengambil data beban (ampere) pada MCB induk yang terdapat pada 15 stasiun yaitu pada stasiun Loading Ram 1, Loading Ram 2, Rebusan, Mono Press 1, Mono Press 2, Tankos, Pabrik Minyak 1, Pabrik Minyak 2, Pabrik Minyak 3, Pressan 1, Pressan 2, Pabrik Biji, Boiler, Kamar Mesin, serta Kantor/bengkel dan data di ambil dari jam 08:00 WIB s/d 17:00 WIB pada bulan januari 2023 pada saat pabrik beroperasi mulai tanggal 11, 12, 16, 17, 20, 21, 23, 24, 27, dan 28 Januari 2023. Sedangkan pada generator turbin terpasang dengan kapasitas 800 kW di PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir. Adapun data yang saya ambil sebagai berikut:

**Table 4. 1** Data Beban pada tanggal 11-01-2023, Pukul 08:00-12:00 WIB

No.	Stasiun	Beban (Ampere), Pada Tanggal 11 Januari 2023														
		Pukul														
		08:00 WIB			09:00 WIB			10:00 WIB			11:00 WIB			12:00 WIB		
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
1.	Loading Ram 1	3A	2A	3A	3A	4A	2A	4A	5A	3A	3A	3A	3A	3A	4A	3A
2.	Loading Ram 2	4A	4A	4A	4A	3A	5A	3A	4A	3A	4A	4A	4A	4A	3A	4A
3.	Rebusan	58 A	61 A	55 A	58 A	60 A	60 A	60 A	58 A	60 A	56 A	63 A	59 A	76 A	68 A	62 A
4.	Mono Press 1	152 A	160A	160A	173 A	168 A	170 A	180 A	176 A	178 A	167 A	193 A	182 A	119 A	129 A	132 A
5.	Mono Press 2	27A	25 A	26 A	31 A	25 A	40 A	31 A	27 A	39 A	30 A	25 A	27 A	29 A	32 A	31 A
6.	Tankos	55 A	60 A	57 A	30 A	43 A	31 A	31 A	40 A	35 A	38 A	37 A	39 A	40 A	43 A	39 A
7.	Pabrik Minyak 1	15A	15A	13A	38A	38 A	38 A	32 A	35 A	37 A	41 A	40 A	39 A	40 A	39 A	37 A
8.	Pabrik Minyak 2	0,1 A	8A	0,1 A	41 A	41 A	41 A	43 A	41 A	45 A	39 A	40 A	38 A	38 A	40 A	38 A
9.	Pabrik Minyak 3	0,1 A	0,3 A	0,5 A	35 A	37 A	33 A	36 A	34 A	38 A	34 A	35 A	35 A	33 A	33 A	30 A
10.	Pressan 1	101 A	98 A	86 A	36 A	47 A	26 A	38 A	40 A	31 A	86 A	90 A	89 A	83 A	86 A	81 A
11.	Pressan 2	60 A	61 A	56 A	149A	119A	152A	152	142 A	160 A	116 A	132 A	130 A	122 A	130 A	125 A
12.	Pabrik Biji	161 A	105 A	151 A	220A	180A	215A	216 A	205 A	220 A	216 A	222 A	214 A	221 A	211 A	225 A
13.	Boiler	188 A	192 A	176 A	185A	159 A	165 A	189 A	190 A	177 A	200 A	183 A	191 A	215 A	205 A	209 A
14.	Kamar Mesin	1000A	1000A	1000A	950A	1050A	1000A	1000 A	1050 A	1000 A	1050 A	1100 A	1000 A	1100 A	1100 A	1050 A
15.	Kantor/Bengkel	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A	210 A	210 A	210 A	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A
	Beban Total	2024 A	1984 A	1987 A	2153 A	2169 A	2179 A	2225 A	2257 A	2236 A	2380 A	2367 A	2250 A	2352 A	2323 A	2266 A

**Table 4. 2** Data Beban pada tanggal 11-01-2023, Pukul 13:00-17:00 WIB

No.	Stasiun	Beban (Ampere), Pada Tanggal 11 Januari 2023														
		Pukul														
		13:00 WIB			14:00 WIB			15:00 WIB			16:00 WIB			17:00 WIB		
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
1.	Loading Ram 1	23 A	24 A	23 A	27 A	26 A	26 A	21 A	19 A	24 A	26 A	30 A	31 A	31 A	26 A	29 A
2.	Loading Ram 2	24 A	23 A	24 A	27 A	29 A	30 A	30 A	29 A	25 A	19 A	18 A	20 A	26 A	23 A	25 A
3.	Rebusan	67 A	69 A	70 A	68 A	70 A	89 A	56 A	54 A	59 A	87 A	72 A	70 A	62 A	63 A	66 A
4.	Mono Press 1	178 A	165 A	181 A	162 A	170 A	168 A	180 A	187 A	196 A	162 A	159 A	160 A	172 A	167 A	166 A
5.	Mono Press 2	27 A	24 A	26 A	31 A	33 A	32 A	26 A	29 A	29 A	34 A	36 A	39 A	29 A	32 A	31 A
6.	Tankos	30 A	29 A	29 A	37 A	36 A	41 A	31 A	29 A	33 A	32 A	36 A	40 A	26 A	28 A	26 A
7.	Pabrik Minyak 1	39 A	37 A	35 A	46 A	43 A	39 A	41 A	39 A	38 A	39 A	38 A	41 A	39 A	39 A	38 A
8.	Pabrik Minyak 2	38 A	40 A	40 A	41 A	44 A	48 A	38 A	39 A	38 A	42 A	42 A	41 A	38 A	39 A	38 A
9.	Pabrik Minyak 3	30 A	32 A	31 A	31 A	37 A	33 A	31 A	35 A	37 A	31 A	34 A	32 A	29 A	31 A	33 A
10.	Pressan 1	83 A	81 A	80 A	80 A	77 A	86 A	86 A	85 A	88 A	89 A	90 A	91 A	86 A	87 A	89 A
11.	Pressan 2	117 A	126 A	120 A	121 A	128 A	131 A	126 A	131 A	127 A	116 A	126 A	119 A	132 A	142 A	135 A
12.	Pabrik Biji	200 A	192 A	193 A	216 A	230 A	222 A	325 A	323 A	331 A	316 A	330 A	327 A	327 A	316 A	320 A
13.	Boiler	176 A	168 A	160 A	216 A	201 A	206 A	192 A	186 A	196 A	206 A	200 A	201 A	177 A	166 A	176 A
14.	Kamar Mesin	1000 A	1050 A	950 A	950 A	1000 A	950 A	1100 A	1200 A	1150 A	1150 A	1200 A	1100 A	1200 A	1050 A	1200 A
15.	Kantor/Bengkel	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A	200 A
	Beban Total	2380 A	2367 A	2250 A	2253 A	2324 A	2301 A	2483 A	2531 A	2572 A	2549 A	2611 A	2512 A	2512 A	2409 A	2576 A

Tabel 4.1 dan 4.2 adalah data mentah yang di dapatkan di PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir. Untuk mencari pemakaian turbin pada PKS dibutuhkan  $R_{total}$ ,  $S_{total}$ ,  $T_{total}$ . Maka berdasarkan perhitungan di dapatkan data-data berikut:

**Table 4. 3** Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 11-01-2023

No.	Tanggal	Pukul	$R_{total}$	$S_{total}$	$T_{total}$	$I_{total}$
1.	11-01-2023	08:00	2024 A	1984 A	1987 A	1988,3 A
2.	11-01-2023	09:00	2153 A	2169 A	2179 A	2167 A
3.	11-01-2023	10:00	2225 A	2257 A	2236 A	2349 A
4.	11-01-2023	11:00	2380 A	2367 A	2250 A	2332,3 A
5.	11-01-2023	12:00	2352 A	2323 A	2266 A	2313,6 A
6.	11-01-2023	13:00	2380 A	2367 A	2250 A	2218 A
7.	11-01-2023	14:00	2253 A	2324 A	2301 A	2292,6 A
8.	11-01-2023	15:00	2483 A	2531 A	2572 A	2529,6 A
9.	11-01-2023	16:00	2549 A	2611 A	2512 A	2557,3 A
10.	11-01-2023	17:00	2512 A	2409 A	2576 A	2499 A

**Table 4. 4** Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 12-01-2023

No.	Tanggal	Pukul	R <sub>total</sub>	S <sub>total</sub>	T <sub>total</sub>	I <sub>total</sub>
1.	12-01-2023	08:00	2575 A	2654 A	2579 A	2602,6 A
2.	12-01-2023	09:00	2546 A	2593 A	2557 A	2566,3 A
3.	12-01-2023	10:00	2627 A	2641 A	2626 A	2631,3 A
4.	12-01-2023	11:00	2720 A	2660 A	2719 A	2699,6 A
5.	12-01-2023	12:00	2692 A	2698 A	2665 A	2685 A
6.	12-01-2023	13:00	2434 A	2431 A	2451 A	2438,6 A
7.	12-01-2023	14:00	2343 A	2440 A	2374 A	2385,6 A
8.	12-01-2023	15:00	2674 A	2587 A	2625 A	2628,6 A
9.	12-01-2023	16:00	2656 A	2589 A	2606 A	2617 A
10.	12-01-2023	17:00	2635 A	2585 A	2644 A	2621,3 A

**Table 4. 5** Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 16-01-2023

No.	Tanggal	Pukul	R <sub>total</sub>	S <sub>total</sub>	T <sub>total</sub>	I <sub>total</sub>
1.	16-01-2023	08:00	2224 A	2228 A	2204 A	2218,6 A
2.	16-01-2023	09:00	2275 A	2318 A	2291 A	2294,6 A
3.	16-01-2023	10:00	2531 A	2570 A	2513 A	2538 A
4.	16-01-2023	11:00	2513 A	2613 A	2604 A	2576,6 A
5.	16-01-2023	12:00	2599 A	2548 A	2576 A	2574,3 A
6.	16-01-2023	13:00	2512 A	2505 A	2491 A	2502,6 A
7.	16-01-2023	14:00	2559 A	2604 A	2552 A	2561,6 A
8.	16-01-2023	15:00	2582 A	2579 A	2579 A	2580 A
9.	16-01-2023	16:00	2453 A	2530 A	2530 A	2504,3 A
10.	16-01-2023	17:00	2606 A	2661 A	2659 A	2642 A

**Table 4. 6** Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 17-01-2023

No.	Tanggal	Pukul	R <sub>total</sub>	S <sub>total</sub>	T <sub>total</sub>	I <sub>total</sub>
1.	17-01-2023	08:00	2623 A	2655 A	2603 A	2627 A
2.	17-01-2023	09:00	2686 A	2591 A	2564 A	2613,6 A
3.	17-01-2023	10:00	2513 A	2516 A	2573 A	2534 A
4.	17-01-2023	11:00	2516 A	2568 A	2551 A	2545 A
5.	17-01-2023	12:00	2585 A	2539 A	2480 A	2534,6 A
6.	17-01-2023	13:00	2518 A	2565 A	2493 A	2525, 3 A
7.	17-01-2023	14:00	2598 A	2595 A	2540 A	2577,6 A
8.	17-01-2023	15:00	2568 A	2588 A	2619 A	2591,6 A
9.	17-01-2023	16:00	2604 A	2594 A	2482 A	2560 A
10.	17-01-2023	17:00	2435 A	2420 A	2326 A	2393,6 A

**Table 4. 7** Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 20-01-2023

No.	Tanggal	Pukul	R <sub>total</sub>	S <sub>total</sub>	T <sub>total</sub>	I <sub>total</sub>
1.	20-01-2023	08:00	2351 A	2419 A	2372 A	2380,6 A
2.	20-01-2023	09:00	2568 A	2560 A	2520 A	2549,3 A
3.	20-01-2023	10:00	2520 A	2483 A	2524 A	2509 A
4.	20-01-2023	11:00	2590 A	2540 A	2481 A	2537 A
5.	20-01-2023	12:00	2508 A	2545A	2574 A	2542,3 A
6.	20-01-2023	13:00	2538 A	2561 A	2521 A	2540 A
7.	20-01-2023	14:00	2417 A	2426 A	2486 A	2443 A
8.	20-01-2023	15:00	2618 A	2619A	2598 A	2611,6 A
9.	20-01-2023	16:00	2540 A	2589 A	2535 A	2554,6 A
10.	20-01-2023	17:00	2560 A	2516 A	2565 A	2574 A

**Table 4. 8** Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 21-01-2023

No.	Tanggal	Pukul	R <sub>total</sub>	S <sub>total</sub>	T <sub>total</sub>	I <sub>total</sub>
1.	21-01-2023	08:00	2356 A	2363 A	2324 A	2347,6 A
2.	21-01-2023	09:00	2382 A	2484 A	2408 A	2424,6 A
3.	21-01-2023	10:00	2409 A	2404 A	2446 A	2419,6 A
4.	21-01-2023	11:00	2447 A	2420 A	2461 A	2442,6 A
5.	21-01-2023	12:00	2511 A	2558 A	2600 A	2556,3 A
6.	21-01-2023	13:00	2597 A	2629 A	2627 A	2617,6 A
7.	21-01-2023	14:00	2520 A	2511 A	2504 A	2511,6 A
8.	21-01-2023	15:00	2423 A	2416 A	2406 A	2415 A
9.	21-01-2023	16:00	2555 A	2528 A	2504 A	2529 A
10.	21-01-2023	17:00	2573 A	2637 A	2536 A	2570 A

**Table 4. 9** Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 23-01-2023

No.	Tanggal	Pukul	R <sub>total</sub>	S <sub>total</sub>	T <sub>total</sub>	I <sub>total</sub>
1.	23-01-2023	08:00	2294 A	2212 A	2244 A	2250 A
2.	23-01-2023	09:00	2608 A	2691 A	2544 A	2514,3 A
3.	23-01-2023	10:00	2564 A	2621 A	2616 A	2600,3 A
4.	23-01-2023	11:00	2421 A	2576 A	2632 A	2543 A
5.	23-01-2023	12:00	2395 A	2555 A	2591 A	2513,6 A
6.	23-01-2023	13:00	2599 A	2588 A	2513 A	2566,6 A
7.	23-01-2023	14:00	2599 A	2562 A	2559 A	2573,3 A
8.	23-01-2023	15:00	2542 A	2520 A	2518 A	2526,6 A
9.	23-01-2023	16:00	2486 A	2586 A	2504 A	2525,3 A
10.	23-01-2023	17:00	2578 A	2615 A	2626 A	2606,3 A

**Table 4. 10** Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 24-01-2023

No.	Tanggal	Pukul	R <sub>total</sub>	S <sub>total</sub>	T <sub>total</sub>	I <sub>total</sub>
1.	24-01-2023	08:00	2468 A	2471 A	2524 A	2487,6 A
2.	24-01-2023	09:00	2363 A	2364 A	2370 A	2365,6 A
3.	24-01-2023	10:00	2442 A	2496 A	2509 A	2482,3 A
4.	24-01-2023	11:00	2357 A	2481 A	2436 A	2424,6 A
5.	24-01-2023	12:00	2594 A	2595 A	2652 A	2613,6 A
6.	24-01-2023	13:00	2600 A	2592 A	2625 A	2605,6 A
7.	24-01-2023	14:00	2487 A	2395 A	2490 A	2457,3 A
8.	24-01-2023	15:00	2526 A	2489 A	2493 A	2502,6 A
9.	24-01-2023	16:00	2507 A	2518 A	2555 A	2526,6 A
10.	24-01-2023	17:00	2606 A	2595 A	2614 A	2605 A

**Table 4. 11** Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 27-01-2023

No.	Tanggal	Pukul	R <sub>total</sub>	S <sub>total</sub>	T <sub>total</sub>	I <sub>total</sub>
1.	27-01-2023	08:00	2355 A	2234 A	2287 A	2292 A
2.	27-01-2023	09:00	2342 A	2321 A	2377 A	2346,6 A
3.	27-01-2023	10:00	2525 A	2491 A	2546 A	2524 A
4.	27-01-2023	11:00	2552 A	2520 A	2509 A	2527 A
5.	27-01-2023	12:00	2594 A	2567 A	2543 A	2568 A
6.	27-01-2023	13:00	2600 A	2592 A	2655 A	2615,6 A
7.	27-01-2023	14:00	2487 A	2557 A	2490 A	2511,3 A
8.	27-01-2023	15:00	2501 A	2469 A	2493 A	2487,6 A
9.	27-01-2023	16:00	2507 A	2445 A	2530 A	2494 A
10.	27-01-2023	17:00	2577 A	2570 A	2652 A	2593 A

**Table 4. 12** Data Beban Total R,S,T Pada Tanggal 28-01-2023

No.	Tanggal	Pukul	R <sub>total</sub>	S <sub>total</sub>	T <sub>total</sub>	I <sub>total</sub>
1.	28-01-2023	08:00	2480 A	2513 A	2452 A	2481,6 A
2.	28-01-2023	09:00	2374 A	2444 A	2398 A	2402,3 A
3.	28-01-2023	10:00	2546 A	2541 A	2605 A	2564 A
4.	28-01-2023	11:00	2601 A	2611 A	2549 A	2587 A
5.	28-01-2023	12:00	2503 A	2520 A	2563 A	2528,6 A
6.	28-01-2023	13:00	2430 A	2508 A	2479 A	2472,3 A
7.	28-01-2023	14:00	2490 A	2580 A	2507 A	2525,6 A
8.	28-01-2023	15:00	2623A	2656 A	2562 A	2613,6 A
9.	28-01-2023	16:00	2507 A	2574 A	2483 A	2521,3 A
10.	28-01-2023	17:00	2520 A	2516 A	2530 A	2522 A

## 4.2. Analisa Data Beban

Berdasarkan data beban total untuk mengetahui jumlah pemakaian pada generator turbin uap yang di pakai pada PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir bisa dilihat dari perhitungan daya dan energi listrik sebagai berikut:

Tanggal : 11-01-2023, jam 08:00 WIB.

### 1. Perhitungan Beban Total

$$I_{\text{total}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{\text{total}} = \frac{2024 + 1984 + 1987}{3}$$

$$I_{\text{total}} = 1988,3 \text{ Ampere}$$

### 2. Perhitungan Daya Aktif

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \alpha$$

$$P = 380 \times 1988,3 \times 0,73 \times 0,8$$

$$P = 441,2 \text{ kW}$$

### 3. Perhitungan Daya Semu

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = 380 \times 1988,3 \times 0,73$$

$$S = 551,5 \text{ kVA}$$

### 4. Perhitungan Daya Reaktif

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{551,5^2 - 441,2^2}$$

$$Q = 330,9 \text{ kVAr}$$

### 5. Perhitungan Energi Listrik

$$E = P \times t$$

$$E = 441,2 \times 24$$

$$E = 10.588,8 \text{ kWh}$$

### 6. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

$$P_{\text{Loss}} = I^2 \times R$$

$$P_{\text{Loss}} = 1988,3^2 \times 0,19$$

$$P_{\text{Loss}} = 751,1 \text{ kW}$$

Tanggal : 11-01-2023, jam 09:00 WIB.

1. Perhitungan Beban Total

$$I_{\text{total}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$
$$I_{\text{total}} = \frac{2153 + 2169 + 2179}{3}$$
$$I_{\text{total}} = 2167 \text{ Ampere}$$

2. Perhitungan Daya Aktif

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \alpha$$
$$P = 380 \times 2167 \times 0,73 \times 0,8$$
$$P = 480,9 \text{ kW}$$

3. Perhitungan Daya Semu

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$
$$S = 380 \times 2167 \times 0,73$$
$$S = 601,1 \text{ kVA}$$

4. Perhitungan Daya Reaktif

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$
$$Q = \sqrt{601,1^2 - 480,9^2}$$
$$Q = 360,6 \text{ kVAR}$$

5. Perhitungan Energi Listrik

$$E = P \times t$$
$$E = 480,9 \times 24$$
$$E = 11.541,6 \text{ kWh}$$

6. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

$$P_{\text{Loss}} = I^2 \times R$$
$$P_{\text{Loss}} = 2167^2 \times 0,17$$
$$P_{\text{Loss}} = 798,3 \text{ kW}$$

Tanggal : 11-01-2023, jam 10:00 WIB.

1. Perhitungan Beban Total

$$I_{\text{total}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{\text{total}} = \frac{2225 + 2257 + 2236}{3}$$

$$I_{\text{total}} = 2349,3 \text{ Ampere}$$

2. Perhitungan Daya Aktif

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \alpha$$

$$P = 380 \times 2349,3 \times 0,73 \times 0,8$$

$$P = 521,3 \text{ kW}$$

3. Perhitungan Daya Semu

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = 380 \times 2349,3 \times 0,73$$

$$S = 651,6 \text{ kVA}$$

4. Perhitungan Daya Reaktif

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{651,6^2 - 521,3^2}$$

$$Q = 390,9 \text{ kVAR}$$

5. Perhitungan Energi Listrik

$$E = P \times t$$

$$E = 521,3 \times 24$$

$$E = 12.511,1 \text{ kWh}$$

6. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

$$P_{\text{Loss}} = I^2 \times R$$

$$P_{\text{Loss}} = 2349,3^2 \times 0,16$$

$$P_{\text{Loss}} = 883 \text{ kW}$$

Tanggal : 11-01-2023, jam 11:00 WIB.

1. Perhitungan Beban Total

$$I_{\text{total}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{\text{total}} = \frac{2380 + 2367 + 2250}{3}$$

$$I_{\text{total}} = 2332,3 \text{ Ampere}$$

2. Perhitungan Daya Aktif

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \alpha$$

$$P = 380 \times 2332,3 \times 0,73 \times 0,8$$

$$P = 517,5 \text{ kW}$$

3. Perhitungan Daya Semu

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = 380 \times 2332,3 \times 0,73$$

$$S = 646,9 \text{ kVA}$$

4. Perhitungan Daya Reaktif

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{646,9^2 - 517,5^2}$$

$$Q = 388,1 \text{ kVAr}$$

5. Perhitungan Energi Listrik

$$E = P \times t$$

$$E = 517,5 \times 24$$

$$E = 12.420 \text{ kWh}$$

6. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

$$P_{\text{Loss}} = I^2 \times R$$

$$P_{\text{Loss}} = 2332,3^2 \times 0,16$$

$$P_{\text{Loss}} = 870,3 \text{ kW}$$

Tanggal : 11-01-2023, jam 12:00 WIB.

1. Perhitungan Beban Total

$$I_{\text{total}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{\text{total}} = \frac{2352 + 2323 + 2266}{3}$$

$$I_{\text{total}} = 2313,6 \text{ Ampere}$$

2. Perhitungan Daya Aktif

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \alpha$$

$$P = 380 \times 2313,6 \times 0,73 \times 0,8$$

$$P = 513,4 \text{ kW}$$

3. Perhitungan Daya Semu

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = 380 \times 2313,6 \times 0,73$$

$$S = 641,7 \text{ kVA}$$

#### 4. Perhitungan Daya Reaktif

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{641,7^2 - 513,4^2}$$

$$Q = 388,1 \text{ kVAr}$$

#### 5. Perhitungan Energi Listrik

$$E = P \times t$$

$$E = 513,4 \times 24$$

$$E = 12.321,6 \text{ kWh}$$

#### 6. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

$$P_{\text{Loss}} = I^2 \times R$$

$$P_{\text{Loss}} = 2313,6^2 \times 0,16$$

$$P_{\text{Loss}} = 856,4 \text{ kW}$$

Tanggal : 11-01-2023, jam 13:00 WIB.

#### 1. Perhitungan Beban Total

$$I_{\text{total}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{\text{total}} = \frac{2232 + 2260 + 2162}{3}$$

$$I_{\text{total}} = 2218 \text{ Ampere}$$

#### 2. Perhitungan Daya Aktif

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \alpha$$

$$P = 380 \times 2218 \times 0,73 \times 0,8$$

$$P = 492,2 \text{ kW}$$

#### 3. Perhitungan Daya Semu

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = 380 \times 2218 \times 0,73$$

$$S = 615,2 \text{ kVA}$$

#### 4. Perhitungan Daya Reaktif

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{615,2^2 - 492,2^2}$$

$$Q = 369 \text{ kVAr}$$

5. Perhitungan Energi Listrik

$$E = P \times t$$

$$E = 492,2 \times 24$$

$$E = 11.812,8 \text{ kWh}$$

6. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

$$P_{\text{Loss}} = I^2 \times R$$

$$P_{\text{Loss}} = 2218^2 \times 0,17$$

$$P_{\text{Loss}} = 836,3 \text{ kW}$$

Tanggal : 11-01-2023, jam 14:00 WIB.

1. Perhitungan Beban Total

$$I_{\text{total}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{\text{total}} = \frac{2253 + 2324 + 2301}{3}$$

$$I_{\text{total}} = 2292,6 \text{ Ampere}$$

2. Perhitungan Daya Aktif

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \alpha$$

$$P = 380 \times 2292,6 \times 0,73 \times 0,8$$

$$P = 508,7 \text{ kW}$$

3. Perhitungan Daya Semu

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = 380 \times 2292,6 \times 0,73$$

$$S = 635,9 \text{ kVA}$$

4. Perhitungan Daya Reaktif

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{635,9^2 - 508,7^2}$$

$$Q = 381,5 \text{ kVAr}$$

5. Perhitungan Energi Listrik

$$E = P \times t$$

$$E = 508,7 \times 24$$

$$E = 12.208,8 \text{ kWh}$$

6. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

$$P_{\text{Loss}} = I^2 \times R$$

$$P_{\text{Loss}} = 2292,6^2 \times 0,16$$

$$P_{\text{Loss}} = 840,9 \text{ kW}$$

Tanggal : 11-01-2023, jam 15:00 WIB.

1. Perhitungan Beban Total

$$I_{\text{total}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{\text{total}} = \frac{2483 + 2531 + 2575}{3}$$

$$I_{\text{total}} = 2529,6 \text{ Ampere}$$

2. Perhitungan Daya Aktif

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \alpha$$

$$P = 380 \times 2529,6 \times 0,73 \times 0,8$$

$$P = 561,3 \text{ kW}$$

3. Perhitungan Daya Semu

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = 380 \times 2529,6 \times 0,73$$

$$S = 701,7 \text{ kVA}$$

4. Perhitungan Daya Reaktif

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{701,7^2 - 561,3^2}$$

$$Q = 421 \text{ kVAr}$$

5. Perhitungan Energi Listrik

$$E = P \times t$$

$$E = 561,3 \times 24$$

$$E = 13.471,2 \text{ kWh}$$

6. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

$$P_{Loss} = I^2 \times R$$

$$P_{Loss} = 2529,6^2 \times 0,15$$

$$P_{Loss} = 959,8 \text{ kW}$$

Tanggal : 11-01-2023, jam 16:00 WIB.

1. Perhitungan Beban Total

$$I_{total} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{total} = \frac{2549 + 2611 + 2512}{3}$$

$$I_{total} = 2557,3 \text{ Ampere}$$

2. Perhitungan Daya Aktif

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \alpha$$

$$P = 380 \times 2557,3 \times 0,73 \times 0,8$$

$$P = 567,5 \text{ kW}$$

3. Perhitungan Daya Semu

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = 380 \times 2557,3 \times 0,73$$

$$S = 709,3 \text{ kVA}$$

4. Perhitungan Daya Reaktif

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{709,3^2 - 567,5^2}$$

$$Q = 425,4 \text{ kVAr}$$

5. Perhitungan Energi Listrik

$$E = P \times t$$

$$E = 567,5 \times 24$$

$$E = 13.620 \text{ kWh}$$

6. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

$$P_{Loss} = I^2 \times R$$

$$P_{Loss} = 2557,3^2 \times 0,15$$

$$P_{Loss} = 980,9 \text{ kW}$$

Tanggal : 11-01-2023, jam 17:00 WIB.

1. Perhitungan Beban Total

$$I_{\text{total}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$
$$I_{\text{total}} = \frac{2512 + 2409 + 2576}{3}$$
$$I_{\text{total}} = 2499 \text{ Ampere}$$

2. Perhitungan Daya Aktif

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \alpha$$
$$P = 380 \times 2499 \times 0,73 \times 0,8$$
$$P = 554,5 \text{ kW}$$

3. Perhitungan Daya Semu

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$
$$S = 380 \times 2499 \times 0,73$$
$$S = 693,2 \text{ kVA}$$

4. Perhitungan Daya Reaktif

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$
$$Q = \sqrt{693,2^2 - 554,5^2}$$
$$Q = 415,9 \text{ kVAr}$$

5. Perhitungan Energi Listrik

$$E = P \times t$$
$$E = 554,5 \times 24$$
$$E = 13.308 \text{ kWh}$$

6. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

$$P_{\text{Loss}} = I^2 \times R$$
$$P_{\text{Loss}} = 2499^2 \times 0,15$$
$$P_{\text{Loss}} = 936,7 \text{ kW}$$

Untuk analisa pada tanggal 12, 16, 17, 20, 21, 23, 24, 27, dan 28 Januari 2023 menggunakan rumus dan cara yang sama dengan analisa pada tanggal 11 Januari 2023.

### 4.3. Grafik Dan Hasil Analisa Data

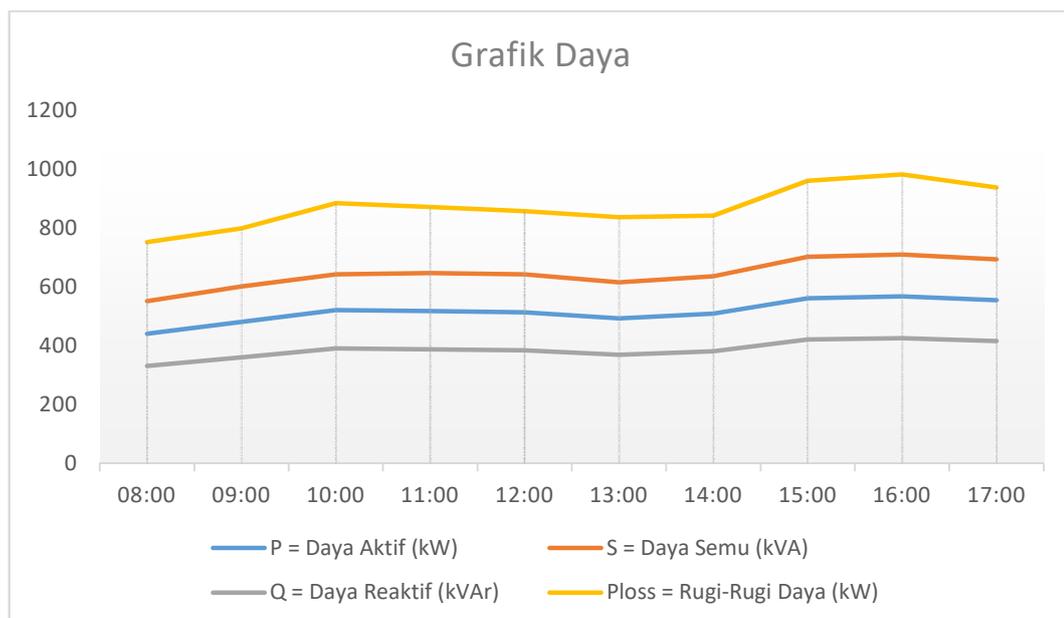
Berdasarkan hasil analisa bisa kita dapatkan beberapa grafik daya dan energi sebagai berikut:

Hasil Analisa: Tanggal 11-01-2023

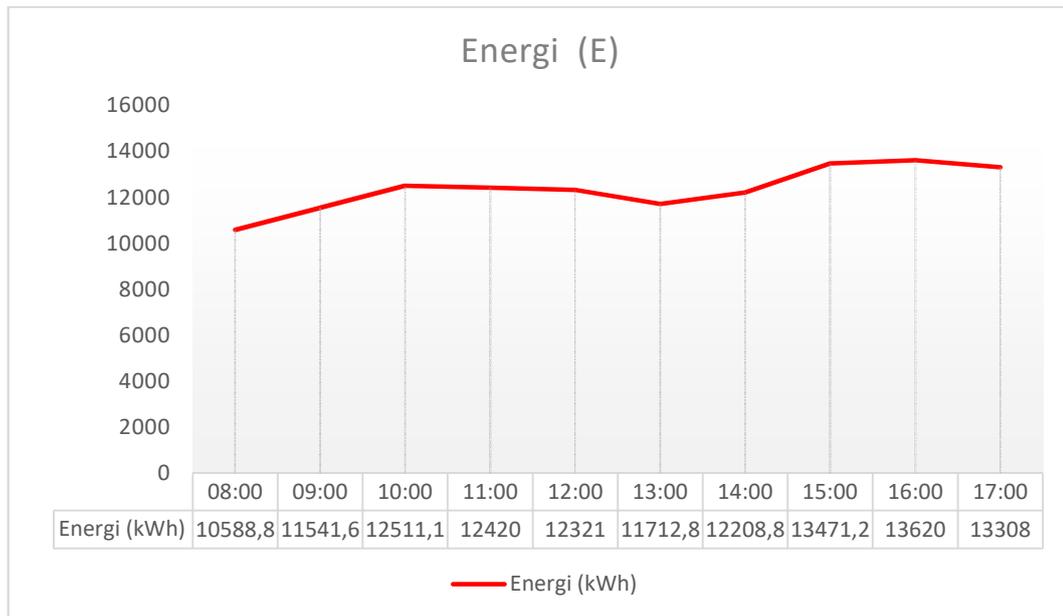
**Table 4. 13** Hasil Analisa Tanggal 11-01-2023

Pukul	P	S	Q	Ploss	Energi
08:00	441,2 kW	551,5 kVA	330,9 kVAr	751,1 kW	10588,8 kWh
09:00	480,9 kW	601,1 kVA	360,6 kVAr	798,3 kW	11541,6 kWh
10:00	521,3 kW	641,6 kVA	390,9 kVAr	883 kW	12511,1 kWh
11:00	517,5 kW	646,9 kVA	388,1 kVAr	870,3 kW	12420 kWh
12:00	513,4 kW	641,7 kVA	384,9 kVAr	856,4 kW	12321 kWh
13:00	492,2 kW	615,2 kVA	369 kVAr	836,3 kW	11712,8 kWh
14:00	508,7 kW	635,9 kVA	381,5 kVAr	840,9 kW	12208,8 kWh
15:00	561,3 kW	701,7 kVA	421 kVAr	959,8 kW	13471,2 kWh
16:00	567,5 kW	709,3 kVA	425,4 kVAr	980,9 kW	13620 kWh
17:00	554,5 kW	693,2 kVA	415,9 kVAr	936,7 kW	13308 kWh

Dari perhitungan analisa data pada tanggal 11 Januari 2023 menghasilkan daya rata-rata sebesar 515,85 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Maka pemakaian beban pada kapasitas turbine yang terpasang masih 64,48% mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir.



**Gambar 4. 1** Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 11-01-2023



**Gambar 4. 2** Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 11-01-2023

Berdasarkan Grafik 4.1 dan 4.2 Daya dan Energi tertinggi pada tanggal 11 Januari 2023 pada jam 16:00 WIB dengan daya sebesar 567,5 kW sedangkan energi 13.620 kWh karena beban (buah yang di olah pada PKS) pada jam 16:00 WIB jauh besar dari pada beberapa jam lainnya.

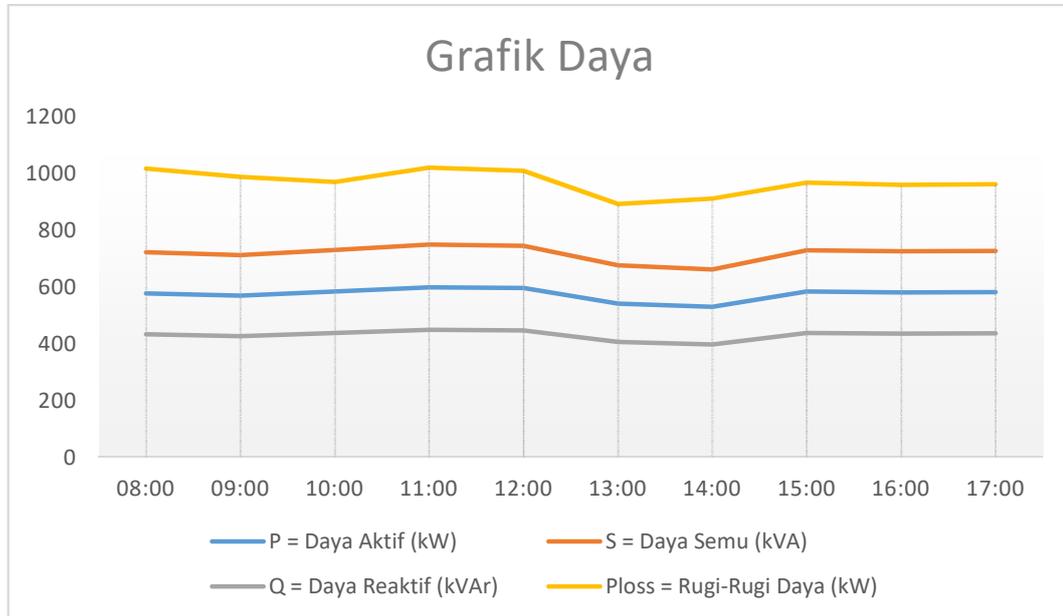
Hasil Analisa: Tanggal 12-01-2023

**Table 4. 14** Hasil Analisa Tanggal 12-01-2023

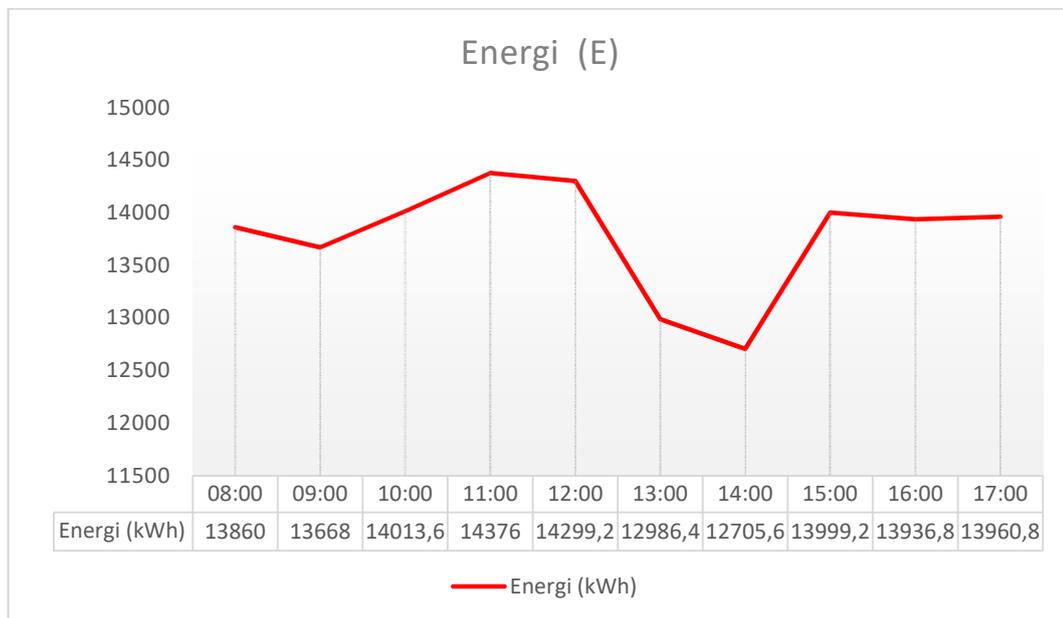
Pukul	P	S	Q	Ploss	Energi
08:00	577,5 kW	721,9 kVA	433,1 kVAr	1016 kW	13860 kWh
09:00	569,5 kW	711,8 kVA	426,9 kVAr	987,8 kW	13668 kWh
10:00	583,9 kW	729,9 kVA	437,9 kVAr	969,3 kW	14013,6 kWh
11:00	599 kW	748,8 kVA	449,3 kVAr	1020,2 kW	14376 kWh
12:00	595,8 kW	744,8 kVA	446,9 kVAr	1009,2 kW	14299,2 kWh
13:00	541,1 kW	676,4 kVA	405,8 kVAr	892 kW	12986,4 kWh
14:00	529,4 kW	661,7 kVA	396,9 kVAr	910,5 kW	12705,6 kWh
15:00	583,3 kW	729,1 kVA	437,4 kVAr	967,3 kW	13999,2 kWh
16:00	580,7 kW	725,9 kVA	435,5 kVAr	958,8 kW	13936,8 kWh
17:00	581,7 kW	727,1 kVA	436,2 kVAr	961,9 kW	13960,8 kWh

Dari perhitungan analisa data pada tanggal 12 Januari 2023 menghasilkan daya rata-rata sebesar 574,19 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Maka pemakaian beban pada kapasitas turbine yang

terpasang masih 71,77% mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir.



**Gambar 4.3** Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 12-01-2023



**Gambar 4.4** Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 12-01-2023

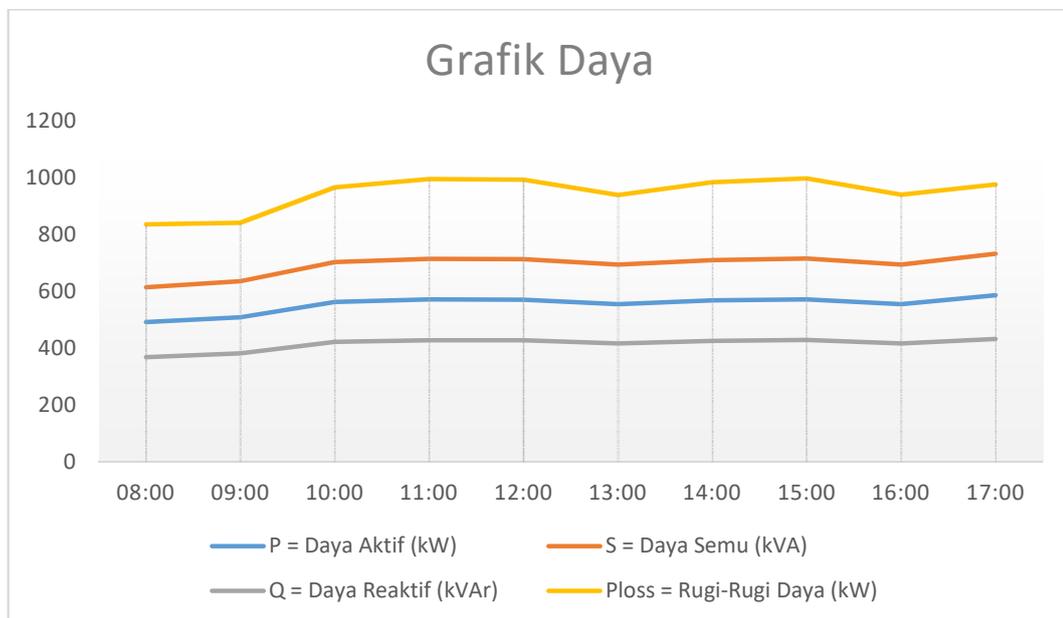
Berdasarkan Grafik 4.3 dan 4.4 Daya dan Energi tertinggi pada tanggal 12 Januari 2023 pada jam 11:00 WIB dengan daya sebesar 599 kW sedangkan energi 14.376 kWh karena beban (buah yang di olah pada PKS) pada jam 11:00 WIB jauh besar dari pada beberapa jam lainnya.

Hasil Analisa: Tanggal 16-01-2023

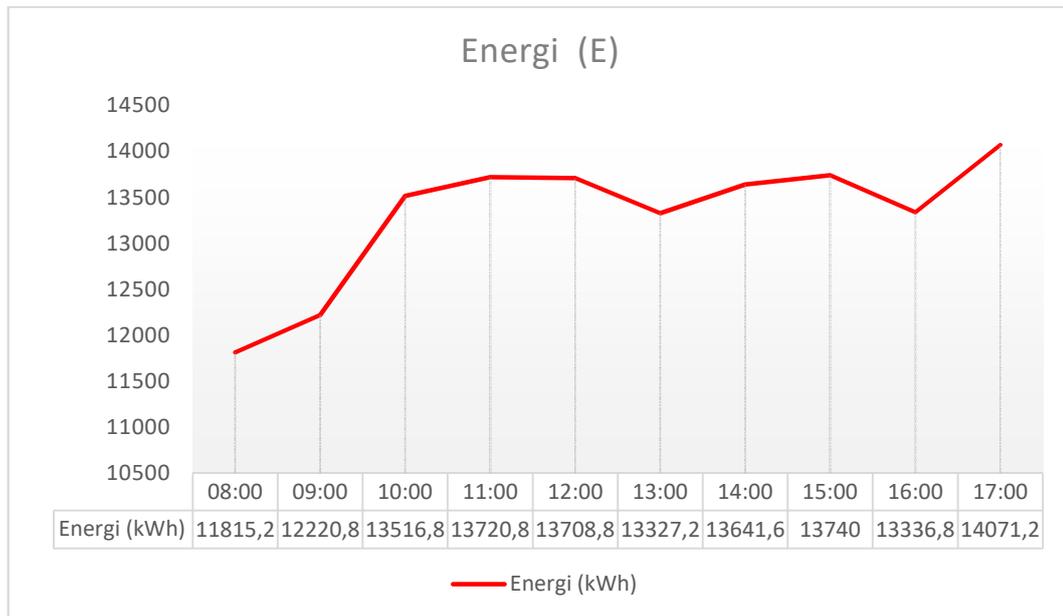
**Table 4. 15** Hasil Analisa Tanggal 16-01-2023

Pukul	P	S	Q	Ploss	Energi
08:00	492,3 kW	615,4 kVA	369,2 kVAr	836,7 kW	11815,2 kWh
09:00	509,2 kW	636,5 kVA	381,9 kVAr	842,4 kW	12220,8 kWh
10:00	563,2 kW	704 kVA	422,4 kVAr	966,2 kW	13516,8 kWh
11:00	571,7 kW	714,7 kVA	428,8 kVAr	995,8 kW	13720,8 kWh
12:00	571,2 kW	714,1 kVA	428,5 kVAr	994 kW	13708,8 kWh
13:00	555,3 kW	694,2 kVA	416,5 kVAr	939,4 kW	13327,2 kWh
14:00	568,4 kW	710,5 kVA	426,3 kVAr	984,2 kW	13641,6 kWh
15:00	572,5 kW	715,6 kVA	429,3 kVAr	998,4 kW	13740 kWh
16:00	555,7 kW	694,6 kVA	416,7 kVAr	940,7 kW	13336,8 kWh
17:00	586,3 kW	732,8 kVA	432,8 kVAr	977,2 kW	14071,2 kWh

Dari perhitungan analisa data pada tanggal 16 Januari 2023 menghasilkan daya rata-rata sebesar 554,58 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Maka pemakaian beban pada kapasitas turbine yang terpasang masih 69,32% mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir.



**Gambar 4. 5** Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 16-01-2023



**Gambar 4. 6** Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 16-01-2023

Berdasarkan Grafik 4.5 dan 4.6 Daya dan Energi tertinggi pada tanggal 16 Januari 2023 pada jam 17:00 WIB dengan daya sebesar 586,3 kW sedangkan energi 14.071,2 kWh karena beban (buah yang di olah pada PKS) pada jam 17:00 WIB jauh besar dari pada beberapa jam lainnya.

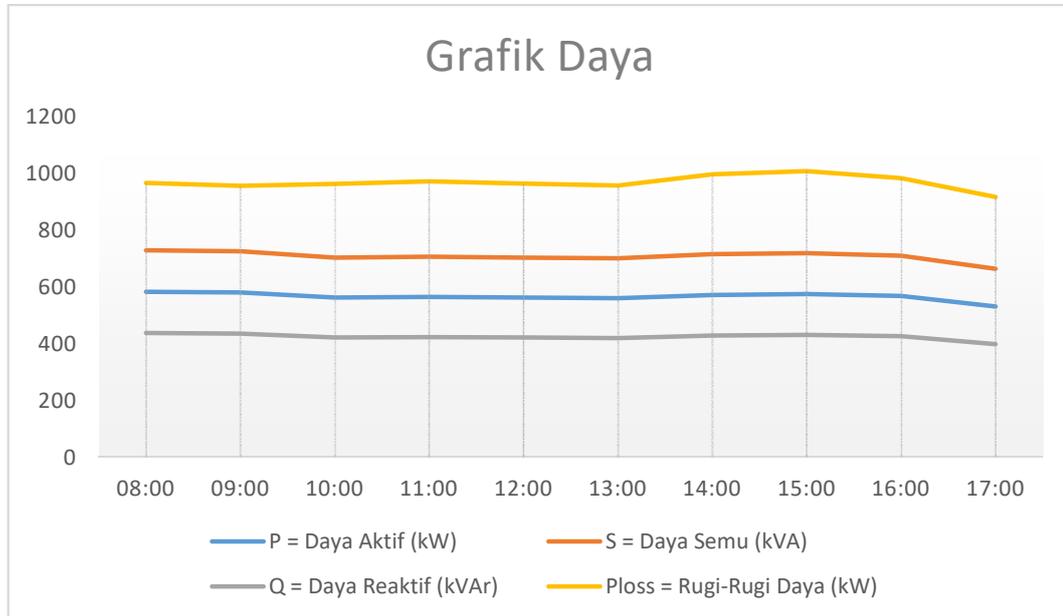
Hasil Analisa: Tanggal 17-01-2023

**Table 4. 16** Hasil Analisa Tanggal 17-01-2023

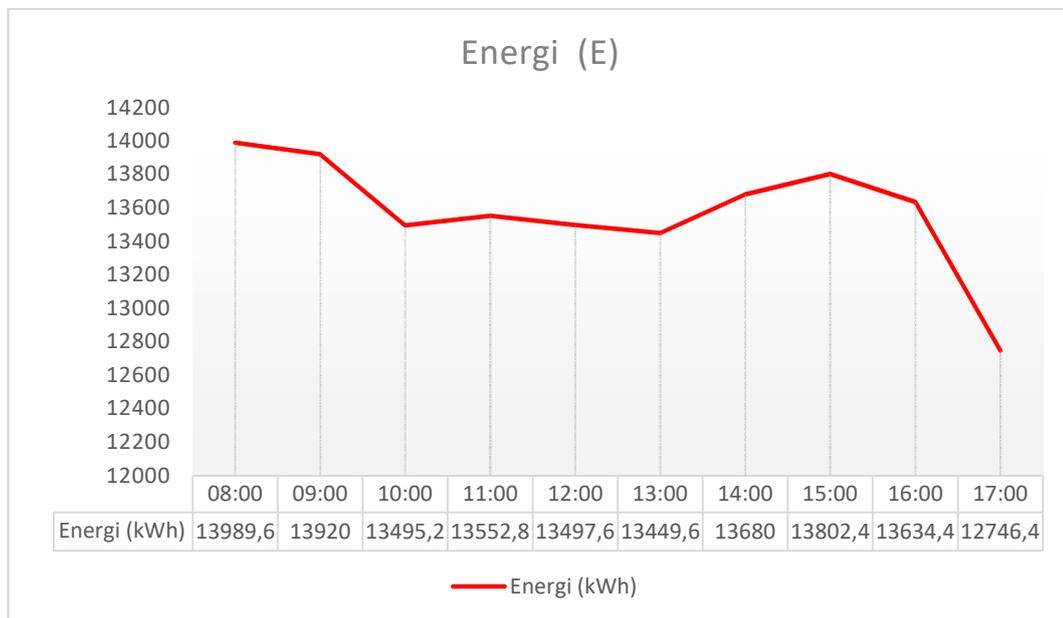
Pukul	P	S	Q	Ploss	Energi
08:00	582,9 kW	728,7 kVA	437,2 kVAr	966,1 kW	13989,6 kWh
09:00	580 kW	725 kVA	435 kVAr	956,3 kW	13920 kWh
10:00	562,3 kW	702,9 kVA	421,7 kVAr	963,1 kW	13495,2 kWh
11:00	564,7 kW	705,9 kVA	423,5 kVAr	971,5 kW	13552,8 kWh
12:00	562,4 kW	703 kVA	421,8 kVAr	963,6 kW	13497,6 kWh
13:00	560,4 kW	700,5 kVA	420,3 kVAr	956,5 kW	13449,6 kWh
14:00	572 kW	715 kVA	429 kVAr	996,6 kW	13680 kWh
15:00	575,1 kW	718,9 kVA	431,3 kVAr	1007,4 kW	13802,4 kWh
16:00	568,1 kW	710,1 kVA	426 kVAr	983 kW	13634,4 kWh
17:00	531,1 kW	663,9 kVA	398,3 kVAr	916,6 kW	12746,4 kWh

Dari perhitungan analisa data pada tanggal 17 Januari 2023 menghasilkan daya rata-rata sebesar 565,9 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Maka pemakaian beban pada kapasitas turbine yang

terpasang masih 70,73% mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir.



**Gambar 4. 7** Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 17-01-2023



**Gambar 4. 8** Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 17-01-2023

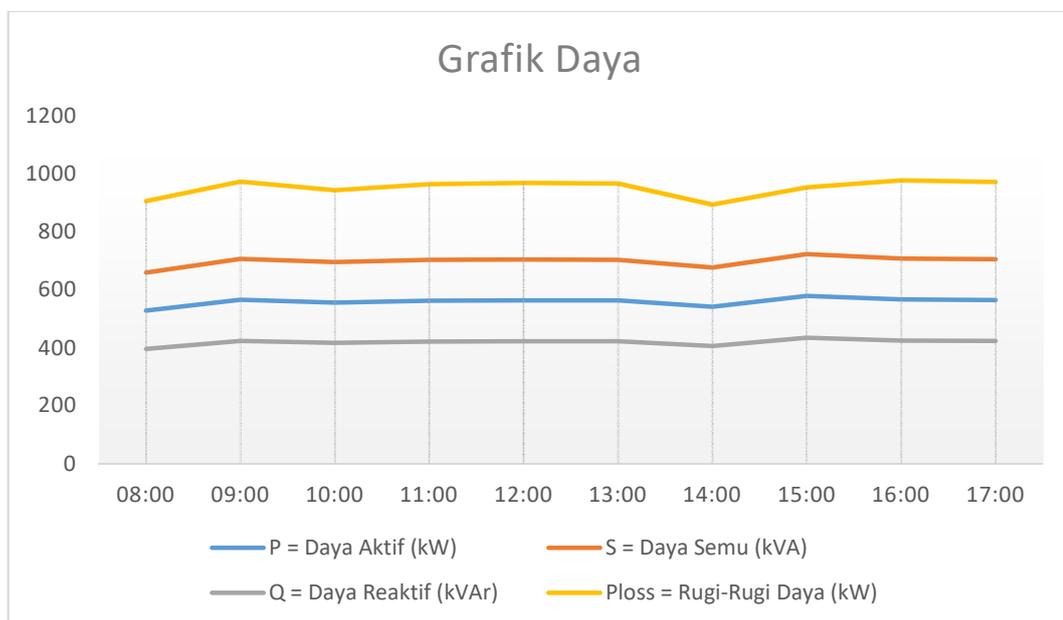
Berdasarkan Grafik 4.7 dan 4.8 Daya dan Energi tertinggi pada tanggal 17 Januari 2023 pada jam 08:00 WIB dengan daya sebesar 582,9 kW sedangkan energi 13.989,6 kWh karena beban (buah yang di olah pada PKS) pada jam 08:00 WIB jauh besar dari pada beberapa jam lainnya.

Hasil Analisa: Tanggal 20-01-2023

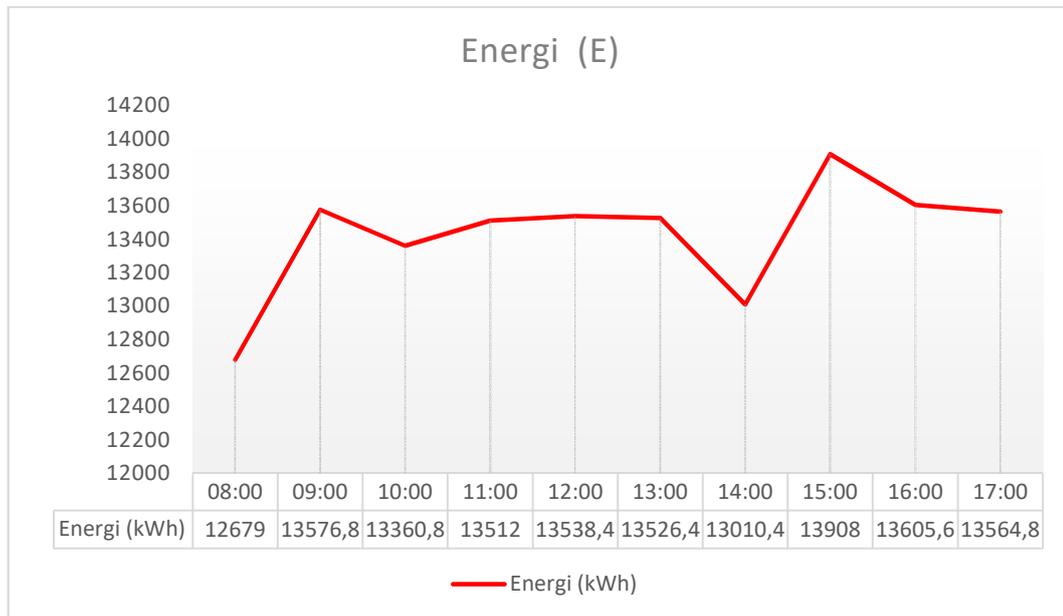
**Table 4. 17** Hasil Analisa Tanggal 20-01-2023

Pukul	P	S	Q	Ploss	Energi
08:00	528,3 kW	660,3 kVA	396 kVAr	906,7 kW	12679 kWh
09:00	565,7 kW	707,1 kVA	424,2 kVAr	974,8 kW	13576,8 kWh
10:00	556,7 kW	695,9 kVA	417,5 kVAr	944,2 kW	13360,8 kWh
11:00	563 kW	703,7 kVA	422,1 kVAr	965,4 kW	13512 kWh
12:00	564,1 kW	705,2 kVA	423,1 kVAr	969,4 kW	13538,4 kWh
13:00	563,6 kW	704,5 kVA	422,7 kVAr	967,7 kW	13526,4 kWh
14:00	542,1 kW	677,6 kVA	406,5 kVAr	895,2 kW	13010,4 kWh
15:00	579,5 kW	724,4 kVA	434,6 kVAr	954,8 kW	13908 kWh
16:00	566,9 kW	708,6 kVA	425,1 kVAr	978,8 kW	13605,6 kWh
17:00	565,2 kW	706,5 kVA	423,9 kVAr	973 kW	13564,8 kWh

Dari perhitungan analisa data pada tanggal 20 Januari 2023 menghasilkan daya rata-rata sebesar 559,51 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Maka pemakaian beban pada kapasitas turbine yang terpasang masih 69,93% mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir.



**Gambar 4. 9** Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 20-01-2023



**Gambar 4. 10** Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 20-01-2023

Berdasarkan Grafik 4.9 dan 4.10 Daya dan Energi tertinggi pada tanggal 20 Januari 2023 pada jam 15:00 WIB dengan daya sebesar 579,5 kW sedangkan energi 13.908 kWh karena beban (buah yang di olah pada PKS) pada jam 15:00 WIB jauh besar dari pada beberapa jam lainnya.

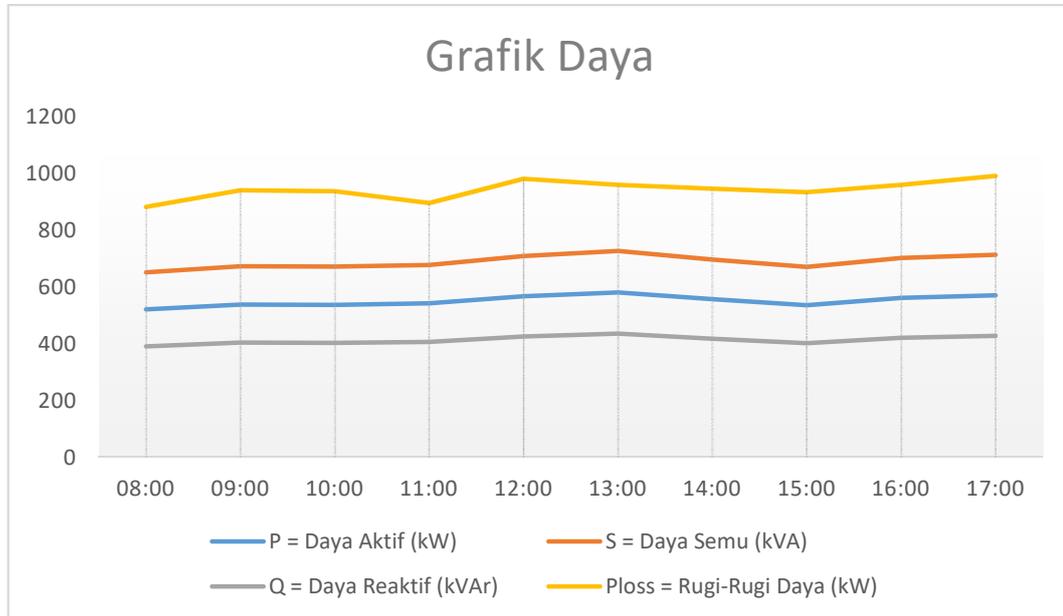
Hasil Analisa: Tanggal 21-01-2023

**Table 4. 18** Hasil Analisa Tanggal 21-01-2023

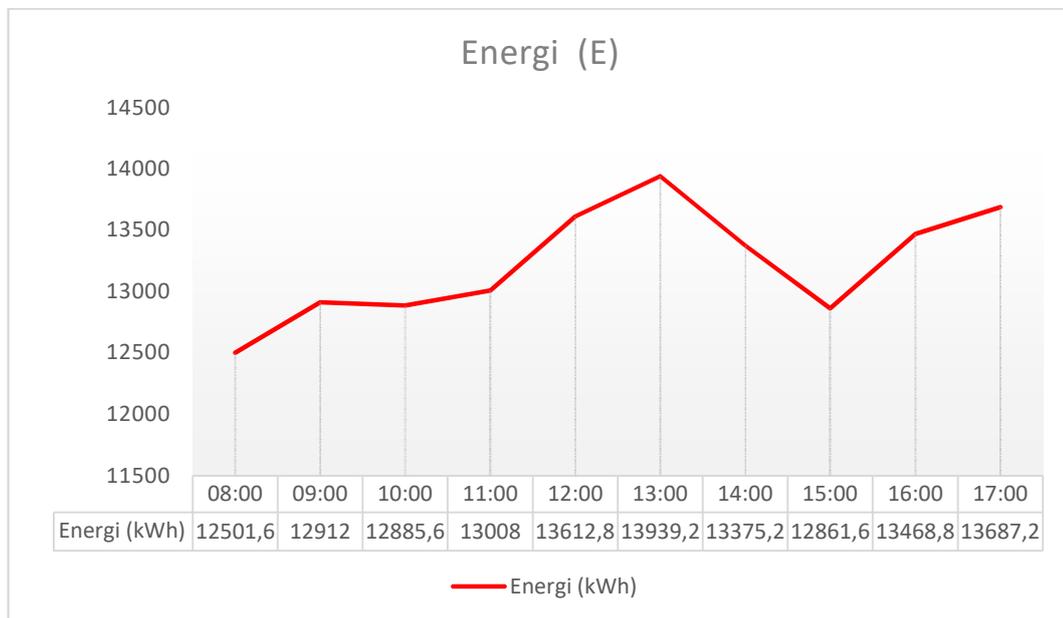
Pukul	P	S	Q	Ploss	Energi
08:00	520,9 kW	651,2 kVA	390,7 kVAr	881,7 kW	12501,6 kWh
09:00	538 kW	672,5 Kva	403,5 kVAr	940,5 kW	12912 kWh
10:00	536,9 kW	671,1 kVA	402,6 kVAr	936,7 kW	12885,6 kWh
11:00	542 kW	677,5 kVA	406,5 kVAr	894,9 kW	13008 kWh
12:00	567,2 kW	709,1 kVA	425,5 kVAr	980,2 kW	13612,8 kWh
13:00	580,8 kW	726,1 kVA	435,7 kVAr	959,2 kW	13939,2 kWh
14:00	557,3 kW	696,7 kVA	418 kVAr	946,2 kW	13375,2 kWh
15:00	535,9 kW	669,9 kVA	401,9 kVAr	933,1 kW	12861,6 kWh
16:00	561,2 kW	701,5 kVA	420,9 kVAr	959,3 kW	13468,8 kWh
17:00	570,3 kW	712,9 kVA	427,7 kVAr	990,7 kW	13687,2 kWh

Dari perhitungan analisa data pada tanggal 21 Januari 2023 menghasilkan daya rata-rata sebesar 551 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Maka pemakaian beban pada kapasitas turbine yang

terpasang masih 68,87% mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir.



**Gambar 4.11** Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 21-01-2023



**Gambar 4.12** Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 21-01-2023

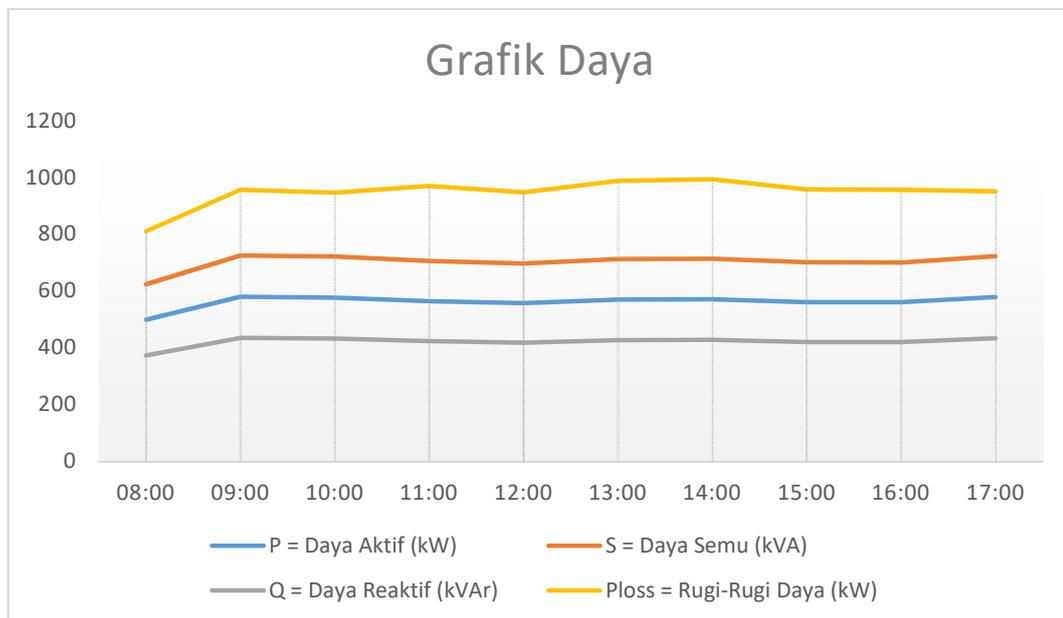
Berdasarkan Grafik 4.11 dan 4.12 Daya dan Energi tertinggi pada tanggal 21 Januari 2023 pada jam 13:00 WIB dengan daya sebesar 580,8 kW sedangkan energi 13.939,2 kWh karena beban (buah yang di olah pada PKS) pada jam 13:00 WIB jauh besar dari pada beberapa jam lainnya.

Hasil Analisa: Tanggal 23-01-2023

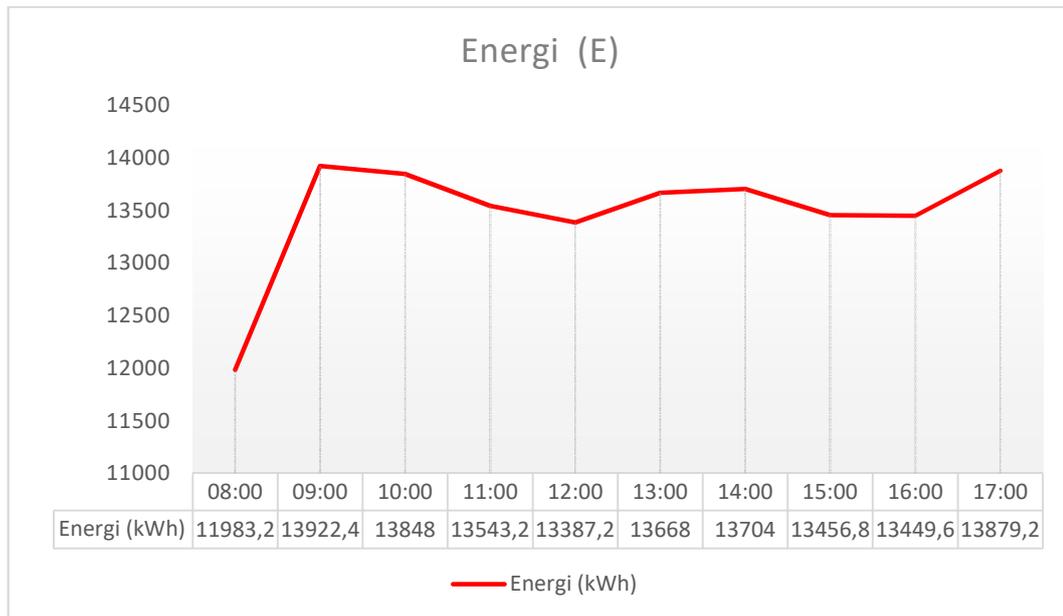
**Table 4. 19** Hasil Analisa Tanggal 23-01-2023

Pukul	P	S	Q	Plos	Energi
08:00	499,3 kW	624,1 kVA	373,4 kVAr	810 kW	11983,2 kWh
09:00	580,1 kW	725,2 kVA	435,1 kVAr	956,8 kW	13922,4 kWh
10:00	577 kW	721,3 kVA	432,8 kVAr	946,6 kW	13848 kWh
11:00	564,3 kW	705,4 kVA	423,2 kVAr	970 kW	13543,2 kWh
12:00	557,8 kW	697,2 kVA	418,2 kVAr	947,7 kW	13387,2 kWh
13:00	569,5 kW	711,9 kVA	427,1 kVAr	988,1 kW	13668 kWh
14:00	571 kW	713,8 kVA	428,3 kVAr	993,2 kW	13704 kWh
15:00	560,7 kW	700,8 kVA	420,3 kVAr	957,5 kW	13456,8 kWh
16:00	560,4 kW	700,5 kVA	420,3 kVAr	956,5 kW	13449,6 kWh
17:00	578,3 kW	722,9 kVA	433,7 kVAr	950,9 kW	13879,2 kWh

Dari perhitungan analisa data pada tanggal 23 Januari 2023 menghasilkan daya rata-rata sebesar 561,84 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Maka pemakaian beban pada kapasitas turbine yang terpasang masih 70,23% mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir.



**Gambar 4. 13** Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 23-01-2023



**Gambar 4. 14** Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 23-01-2023

Berdasarkan Grafik 4.13 dan 4.14 Daya dan Energi tertinggi pada tanggal 23 Januari 2023 pada jam 09:00 WIB dengan daya sebesar 580,1 kW sedangkan energi 13.922,4 kWh karena beban (buah yang di olah pada PKS) pada jam 09:00 WIB jauh besar dari pada beberapa jam lainnya.

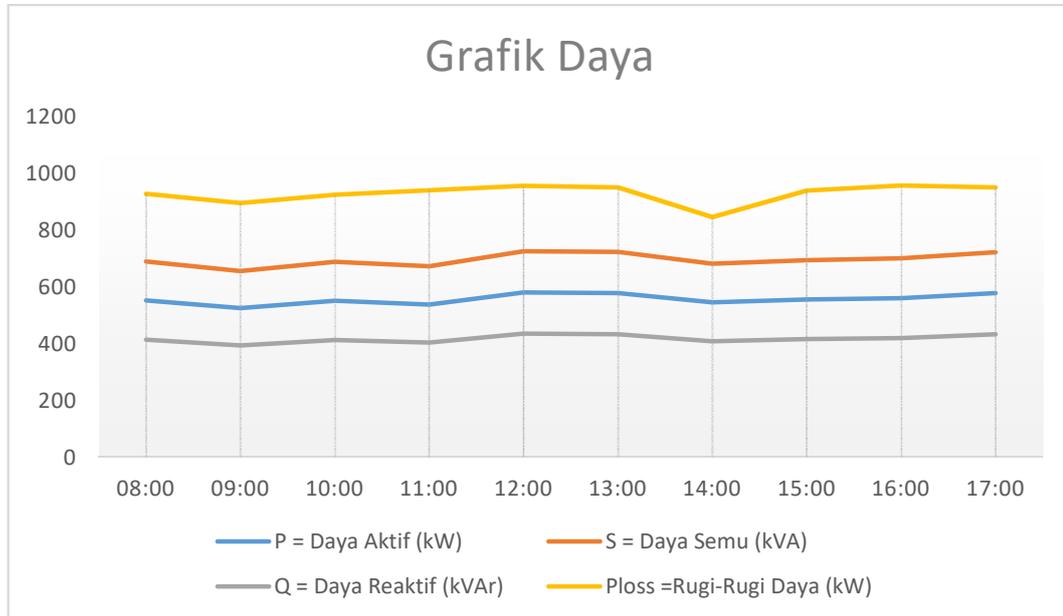
Hasil Analisa: Tanggal 24-01-2023

**Table 4. 20** Hasil Analisa Tanggal 24-01-2023

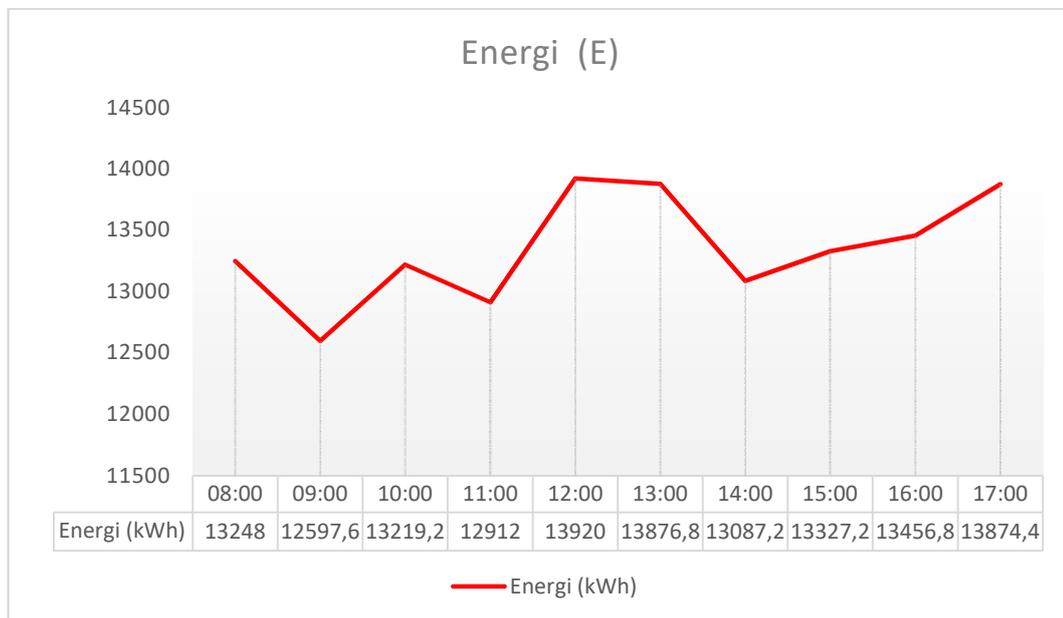
Pukul	P	S	Q	Ploss	Energi
08:00	552 kW	690 kVA	414 kVAr	928,2 kW	13248 kWh
09:00	524,9 kW	656,2 kVA	393,7 kVAr	895,3 kW	12597,6 kWh
10:00	550,8 kW	688,5 kVA	413,1 kVAr	924,2 kW	13219,2 kWh
11:00	538 kW	672,5 kVA	403,5 kVAr	940,5 kW	12912 kWh
12:00	580 kW	725 kVA	435 kVAr	956,3 kW	13920 kWh
13:00	578,2 kW	722,7 kVA	433,5 kVAr	950,4 kW	13876,8 kWh
14:00	545,3 kW	681,6 kVA	408,9 kVAr	845,3 kW	13087,2 kWh
15:00	555,3 kW	694,2 kVA	416,5 kVAr	939,4 kW	13327,2 kWh
16:00	560,7 kW	700,8 kVA	420,3 kVAr	957,5 kW	13456,8 kWh
17:00	578,1 kW	722,6 kVA	433,5 kVAr	950 kW	13874,4 kWh

Dari perhitungan analisa data pada tanggal 24 Januari 2023 menghasilkan daya rata-rata sebesar 556,33 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Maka pemakaian beban pada kapasitas turbine yang

terpasang masih 67,84% mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir.



**Gambar 4.15** Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 24-01-2023



**Gambar 4.16** Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 24-01-2023

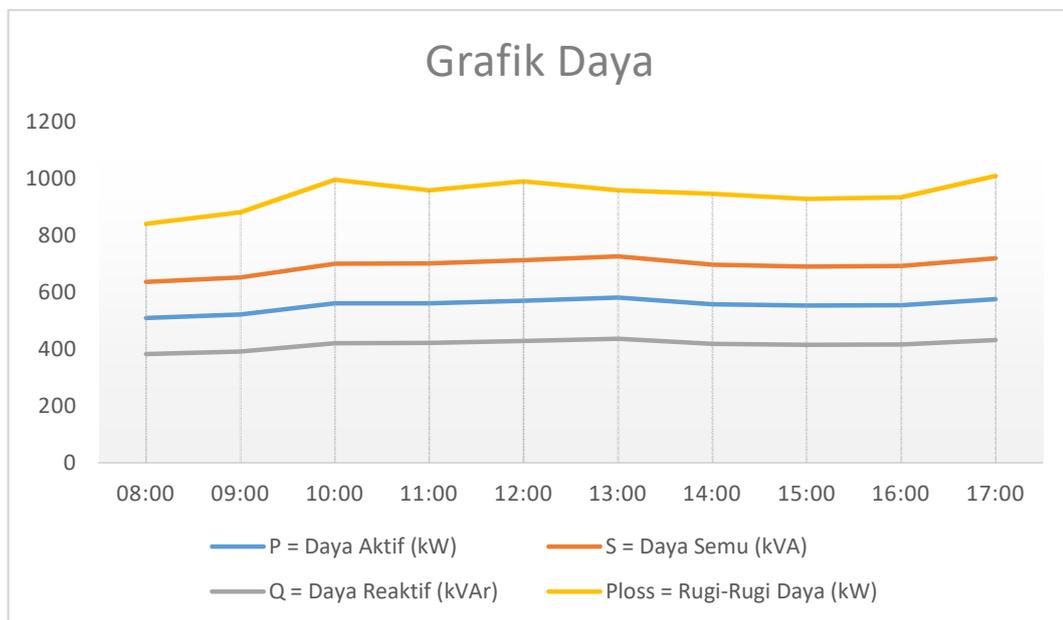
Berdasarkan Grafik 4.15 dan 4.16 Daya dan Energi tertinggi pada tanggal 24 Januari 2023 pada jam 12:00 WIB dengan daya sebesar 580 kW sedangkan energi 13.920 kWh karena beban (buah yang di olah pada PKS) pada jam 12:00 WIB jauh besar dari pada beberapa jam lainnya.

Hasil Analisa: Tanggal 27-01-2023

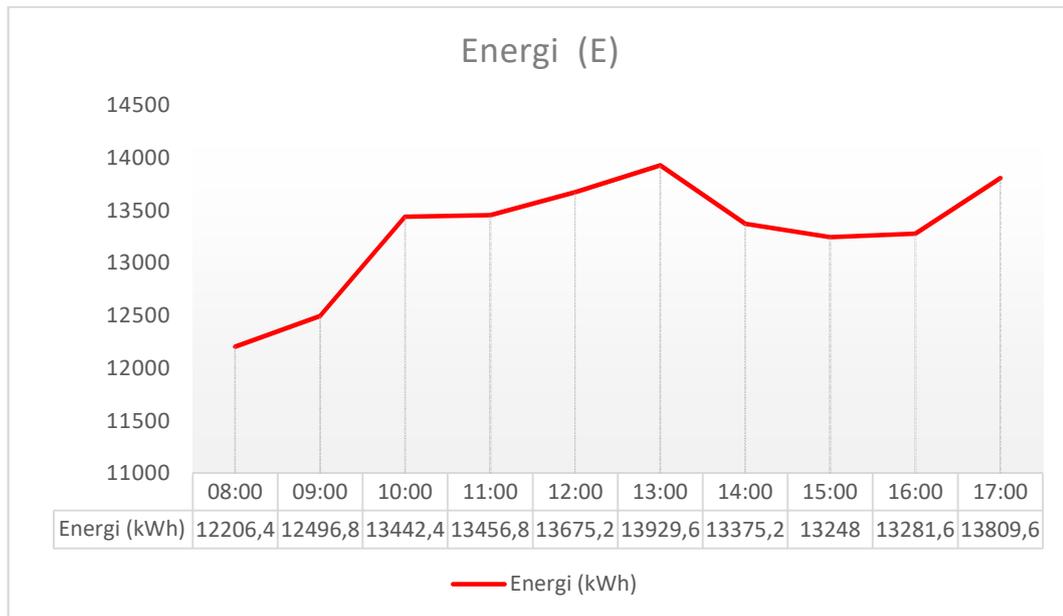
**Table 4. 21** Hasil Analisa Tanggal 27-01-2023

Pukul	P	S	Q	Ploss	Energi
08:00	508,6 kW	635,8 kVA	381,5 kVAr	840,5 kW	12206,4 kWh
09:00	520,7 kW	650,9 kVA	390,5 kVAr	881 kW	12496,8 kWh
10:00	560,1 kW	700,1 kVA	420 kVAr	995,5 kW	13442,4 kWh
11:00	560,7 kW	700,9 kVA	420,5 kVAr	957,8 kW	13456,8 kWh
12:00	569,8 kW	712,3 kVA	427,4 kVAr	989,1 kW	13675,2 kWh
13:00	580,4 kW	725,5 kVA	435,3 kVAr	957,7 kW	13929,6 kWh
14:00	557,3 kW	696,6 kVA	417,9 kVAr	945,9 kW	13375,2 kWh
15:00	552 kW	690 kVA	414 kVAr	928,2 kW	13248 kWh
16:00	553,4 kW	691,8 kVA	415,1 kVAr	933 kW	13281,6 kWh
17:00	575,4 kW	719,2 kVA	431,4 kVAr	1008,5 kW	13809,6 kWh

Dari perhitungan analisa data pada tanggal 27 Januari 2023 menghasilkan daya rata-rata sebesar 553,84 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Maka pemakaian beban pada kapasitas turbine yang terpasang masih 69,23% mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir



**Gambar 4. 17** Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 27-01-2023



**Gambar 4. 18** Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 27-01-2023

Berdasarkan Grafik 4.17 dan 4.18 Daya dan Energi tertinggi pada tanggal 27 Januari 2023 pada jam 13:00 WIB dengan daya sebesar 580,4 kW sedangkan energi 13.929,6 kWh karena beban (buah yang di olah pada PKS) pada jam 13:00 WIB jauh besar dari pada beberapa jam lainnya.

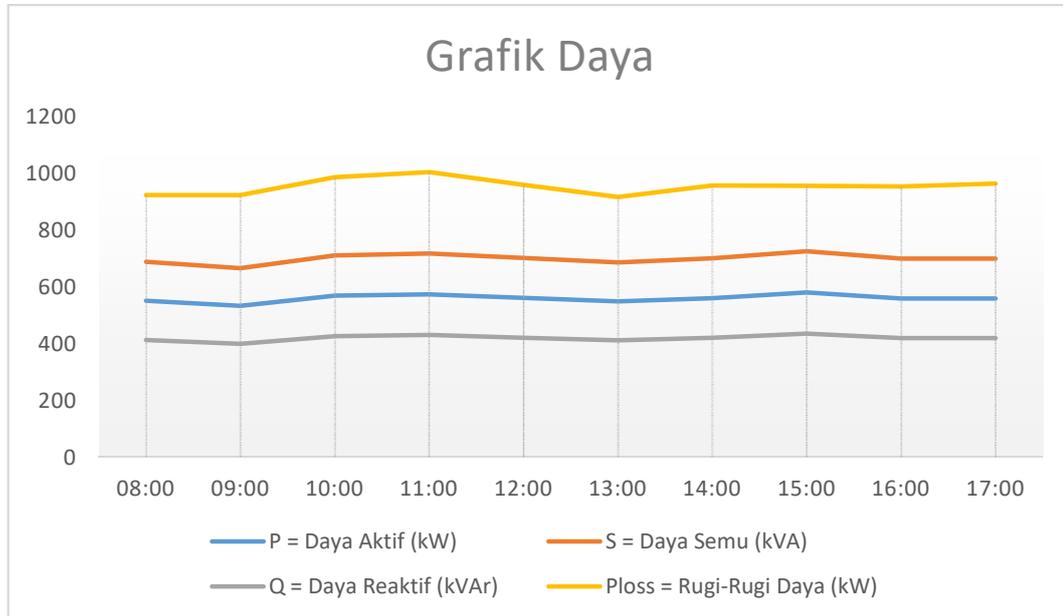
Hasil Analisa: Tanggal 28-01-2023

**Table 4. 22** Hasil Analisa Tanggal 28-01-2023

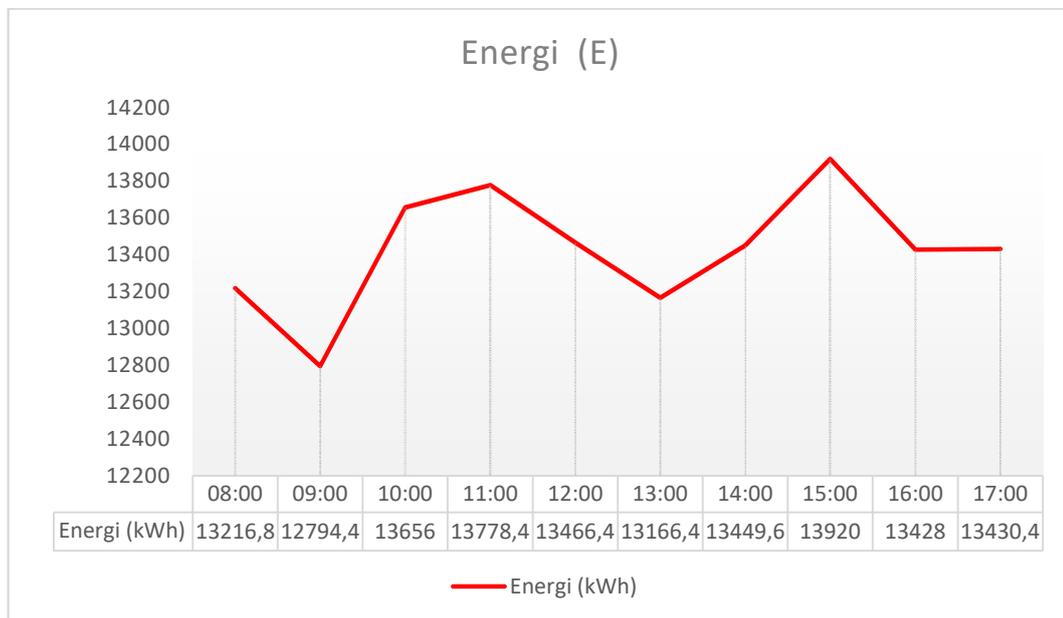
Pukul	P	S	Q	Ploss	Energi
08:00	550,7 kW	688,3 kVA	412,8 kVAr	923,7 kW	13216,8 kWh
09:00	533,1 kW	666,3 kVA	399,6 kVAr	923,3 kW	12794,4 kWh
10:00	569 kW	711,2 kVA	426,6 kVAr	986,1 kW	13656 kWh
11:00	574,2 kW	717,6 kVA	430,5 kVAr	1003,8 kW	13778,4 kWh
12:00	561,1 kW	701,4 kVA	420,8 kVAr	959 kW	13466,4 kWh
13:00	548,6 kW	685,8 kVA	411,5 kVAr	916,8 kW	13166,4 kWh
14:00	560,4 kW	700,6 kVA	420,4 kVAr	956,7 kW	13449,6 kWh
15:00	580 kW	725 kVA	435 kVAr	956,3 kW	13920 kWh
16:00	559,5 kW	699,4 kVA	419,6 kVAr	953,5 kW	13428 kWh
17:00	559,6 kW	699,6 kVA	419,8 kVAr	964 kW	13430,4 kWh

Dari perhitungan analisa data pada tanggal 28 Januari 2023 menghasilkan daya rata-rata sebesar 559,62 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Maka pemakaian beban pada kapasitas turbine yang

terpasang masih 69,95% mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir



**Gambar 4. 19** Grafik Hasil Analisa Daya Pada Tanggal 28-01-2023



**Gambar 4. 20** Grafik Hasil Analisa Energi Pada Tanggal 28-01-2023

Berdasarkan Grafik 4.19 dan 4.20 Daya dan Energi tertinggi pada tanggal 27 Januari 2023 pada jam 15:00 WIB dengan daya sebesar 580 kW sedangkan energi 13.920 kWh karena beban (buah yang di olah pada PKS) pada jam 15:00 WIB jauh besar dari pada beberapa jam lainnya.

#### 4.4. Faktor Yang Mempengaruhi Beban Pada Turbin Uap

Faktor yang mempengaruhi Beban Pada Turbine ada beberapa seperti pada Jam Kerja, Kondisi Operasional, Efisiensi Turbin, Suhu Uap, Bahan Bakar dan lain-lain. Pada penelitian ini hanya membahas pengaruh beban pada Bahan Bakar Biomasa (Cangkang dan *Fiber*) dan Bahan Bakar Minyak.

Bahan bakar dan daya memiliki hubungan yang erat dalam konteks energi dan penggunaan di berbagai sektor. Bahan bakar adalah substansi yang dapat dibakar atau diubah menjadi energi melalui reaksi kimia, sedangkan daya mengacu pada kemampuan untuk melakukan pekerjaan atau menghasilkan energi dalam periode waktu tertentu.

Jenis bahan bakar yang digunakan dapat mempengaruhi efisiensi konversi energi menjadi daya. Bahan bakar yang lebih efisien dalam menghasilkan panas atau reaksi kimia dapat menghasilkan lebih banyak daya dari jumlah bahan bakar yang sama.

Beban merujuk pada seberapa banyak energi yang digunakan oleh suatu perangkat atau sistem dalam periode waktu tertentu. Semakin besar beban, semakin banyak daya yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Ini dapat berkaitan dengan penggunaan bahan bakar jika bahan bakar digunakan untuk menghasilkan daya yang diperlukan untuk memenuhi beban tersebut.

Ketika beban bertambah, konsumsi bahan bakar cenderung meningkat jika tidak ada peningkatan efisiensi dalam konversi energi menjadi daya. Dalam kendaraan bermotor, misalnya, beban yang lebih besar seperti mengangkut muatan berat atau berkendara dengan kecepatan tinggi dapat menghasilkan konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi.

##### 4.4.1. Tabel Data Bahan bakar

Berdasarkan kunjungan langsung di lapangan saya mendapatkan beberapa data yang saya butuhkan sebagai berikut:

**Table 4. 23** Data bahan bakar di PTPN IV Unit PKS Berangir

No.		Jenis Bahan Bakar		
		Cangkang	<i>Fiber</i>	Minyak
1.	Jumlah pemakaian	5%	14%	50 Liter/jam

#### 4.4.2. Bahan Bakar Biomasa

1. Beban hingga Ringan Sedang: Pada beban ringan hingga sedang, turbin yang menggunakan bahan bakar biomasa (cangkang kelapa sawit) dapat menghasilkan beban yang memadai untuk memenuhi kebutuhan listrik atau mekanis. Bahan bakar biomasa dapat digunakan untuk menghasilkan daya listrik pada tingkat yang cukup stabil pada tingkat beban ini.
2. Beban Tinggi: Pada beban tinggi, terutama jika hanya menggunakan biomasa, turbin mungkin tidak mampu menghasilkan daya listrik yang cukup untuk memenuhi kebutuhan puncak. Dalam situasi ini, kemungkinan perlu menggunakan bahan bakar tambahan atau sumber energi cadangan untuk memastikan pasokan listrik yang konsisten.

#### 4.4.3. Bahan Bakar Minyak

1. Beban Ringan Hingga Tinggi: Turbin yang menggunakan bahan bakar residu minyak dapat menghasilkan beban yang stabil pada berbagai tingkat, mulai dari beban ringan hingga tinggi. Bahan bakar minyak memiliki efisiensi yang lebih baik dan dapat menghasilkan energi listrik atau mekanis yang konsisten bahkan pada tingkat beban yang tinggi.
2. Tanggapan Cepat: Turbin yang menggunakan bahan bakar residu minyak juga cenderung memiliki waktu respon yang lebih cepat terhadap perubahan beban dibandingkan dengan bahan bakar biomasa. Ini memungkinkan fleksibilitas yang lebih besar dalam mengatasi fluktuasi permintaan listrik atau mekanis.

#### 4.4.4. Hasil Analisa Data Pada Bahan Bakar Cangkang dan *Fiber*

Berdasarkan jumlah bahan bakar yang tersedia pada PT. Perkebunan IV Unit PKS Berangir dengan kapasitas pengolahan 700 ton TBS/Hari atau 29,16 ton TBS/Jam serta pemakaian terbesar pada pemakaian pabrik 574,19 kW, maka dihasilkan TBS/hari dengan energi masing-masing sebesar yaitu:

$$1. \text{Fiber} = 14\% \times 29,16 \text{ ton} = 4,082 \text{ ton} \times 24 \text{ jam} = 97,968 \text{ ton/hari}$$

$$2. \text{Cangkang} = 5\% \times 29,16 \text{ ton} = 1,458 \text{ ton} \times 24 \text{ jam} = 34,992 \text{ ton/hari}$$

a) Kapasitas Turbin Perhari

$$E_g = 800 \text{ kW}$$

$$(t) E = 24 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} TE &= \sum_{g=1}^n E_g \times \sum (t)E TE \\ &= 800 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} = 19.200 \text{ kWh} \end{aligned}$$

b) Kebutuhan Listrik Pabrik Perhari

$$E_g = 574,19 \text{ kW}$$

$$(t) E = 24 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} TE &= \sum_{g=1}^n E_g \times \sum (t)E TE \\ &= 574,19 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} = 13.780,56 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Perhitungan total energi yang dihasilkan dari pemanfaatan serabut dan cangkang diperoleh dari bahan bakar cangkang tersedia yaitu 34,992 ton/hari dan bahan bakar *fiber* tersedia yaitu 97,968 ton/hari. Hasil perkalian antara kebutuhan listrik pabrik dengan lama penggunaan bahan bakar sebesar 13.780,56 kWh. Sedangkan kapasitas energi yang di hasilkan dari turbin yaitu 19.200 kWh. Maka dapat dilihat kelebihan energi selama 24 jam yaitu sebesar 5.419,44 kWh (G.M.Saragih, Hadrah, 2020).

#### 4.4.5. Hasil Analisa Data Pada Bahan Bakar Minyak

Berdasarkan pemakaian BBM pada PT. Perkebunan IV Unit PKS Berangir 50 liter/jam dan sesuai data yang didapat pada PTPN IV Unit PKS Berangir dalam 1 jam bisa menghasilkan 50 kWh. Maka energi listrik yang di hasilkan pada 1 bulan yaitu :

$$\text{Energi} = \text{Jumlah Bahan bakar (Liter)}$$

$$\text{Energi 1 hari} = \text{Jumlah Bahan Bakar (Liter)} \times \text{waktu pemakaian (jam)}$$

$$\text{Energi 1 hari} = 50 \text{ liter} \times 24 \text{ jam}$$

$$\text{Energi 1 hari} = 1200 \text{ kWh/hari}$$

Untuk mendapatkan jumlah Energi dalam 1 bulan maka :

$$\text{Energi/Bulan} = \text{Energi 1 hari} \times 30 \text{ hari}$$

$$\text{Energi/Bulan} = 1200 \times 30$$

$$\text{Energi/Bulan} = 36.000 \text{ kWh}$$

Perhitungan total energi listrik untuk 50 liter bahan bakar minyak pada pemakaian 1 bulan yaitu 36.000 kWh.

Perhitungan total energi yang dihasilkan dari pemanfaatan bahan bakar minyak tersedia yaitu 1200 liter/hari. Hasil perkalian antara kebutuhan listrik pabrik dengan lama penggunaan bahan bakar sebesar 1200 kWh/hari. Maka pemakaian untuk 30 hari yaitu 36.000 kWh/bulan.

**Table 4. 24** Hasil Analisa Pemakaian Bahan Bakar Biomasa dan Minyak

No.	Jenis Bahan Bakar	Pemakaian/Hari	Energi/Hari
1.	Minyak	1200 Liter/Hari	1200 kWh
2.	Biomasa	<i>Fiber</i> : 97,968 Ton/Hari Cangkang: 34,992 Ton/Hari	13.780,56 kWh

Berdasarkan analisa bahan bakar Biomasa dan BBM dapat diketahui perbedaan energi listrik yang digunakan diketahui pada bahan bakar Biomasa menghasilkan 13.780,56 kWh/hari dengan jumlah bahan bakar 34,992 ton/hari untuk cangkang dan 97,968 ton/hari untuk *fiber* sedangkan pada bahan bakar minyak menghasilkan 1200 kWh/hari dengan jumlah bahan bakar 1200 liter/hari maka dapat disimpulkan pemakaian bahan bakar (cangkang dan *fiber*) jauh lebih banyak membutuhkan bahan bakar dengan energi yang lebih besar pula di bandingkan pada bahan bakar minyak.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan Hasil Analisa Pada PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir terpasang 800 kW sedangkan total daya yang di keluarkan maksimal perhari 574,19 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Hasil perkalian antara kebutuhan listrik pabrik dengan lama penggunaan bahan bakar sebesar 13.780,56 kWh. Sedangkan kapasitas energi yang di hasilkan dari turbin yaitu 19.200 kWh atau masih 71,77% mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir. Maka dapat dilihat kelebihan energi selama 24 jam yaitu sebesar 5.419,44 kWh.
2. Berdasarkan analisa bahan bakar Biomasa dan BBM dapat diketahui perbedaan energi listrik yang digunakan diketahui pada bahan bakar Biomasa menghasilkan 13.780,56 kWh/hari dengan jumlah bahan bakar 34,992 ton/hari untuk cangkang dan 97,968 ton/hari untuk *fiber* sedangkan pada bahan bakar minyak menghasilkan 1200 kWh/hari dengan jumlah bahan bakar 1200 liter/hari maka dapat disimpulkan energi yang digunakan pada bahan bakar biomasa jauh lebih besar daripada energi yang digunakan pada bahan bakar minyak.

#### **5.2. Saran**

Berdasarkan pengamatan dalam penelitian ini, dapat diajukan beberapa saran yaitu:

1. Disarankan untuk menyelenggarakan program edukasi dan pelatihan kepada personel yang bertanggung jawab atas operasi dan pemeliharaan turbin. Ini dapat membantu meningkatkan pemahaman mereka tentang aspek-aspek kunci dalam menjaga kinerja optimal turbin.

2. Disarankan PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir lebih meningkatkan produksi kelapa sawit (TBS) untuk di PKS dan tidak tergantung kepada produksi kelapa sawit dari pihak lain agar kegiatan pengolahan kelapa sawit tetap lancar.
3. Dari pengamatan langsung dilapangan, perlu dilakukan audit kelayakan instalasi kelistrikan pabrik, mengingat kondisi kelistrikan pabrik saat ini kurang baik agar dapat segera dilaksanakannya perbaikan instalasi listrik pabrik.
4. Untuk penelitian selanjutnya karena ruang lingkup penelitian ini terbatas, ada potensi untuk melanjutkan penelitian ini dengan fokus lebih mendalam pada area tertentu. Contohnya, penelitian lebih lanjut tentang efek suhu terhadap kinerja turbin atau analisis lebih mendalam lainnya.
5. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menganalisa biaya bahan bakar pembangkitan tenaga listrik agar dapat diketahui perbandingan biaya bahan biomassa dengan bahan bakar minyak sehingga didapatkan penghematan (efisiensi) dari kedua bahan bakar tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bau Puspa Ratu, Zulhajji, S. K. (2021). Studi Perubahan Beban Listrik Terhadap Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan. *Eprints.Unm.Ac.Id*, 123–141.
- Dwiono, W. (2019). Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron. *RISET REKAYASA ELEKTRO*, 1(1), 37–53.
- Effendi, M. D. (2017). *Analisa Sistem Kelistrikan Pada Stasiun Pengolahan Kernel Kapasitas 50 Ton/Jam Di Pabrik Kelapa Sawit PT. SKL*. 1–100.
- EW, E. R. (2019). Analisa Pengaruh Beban Listrik Terhadap Efisiensi Termal PLTU Payo Selincih Jambi. *Jurnal Inovator*, 2(1), 29–33. <https://doi.org/10.37338/ji.v2i1.37>
- G.M.Saragih, Hadrah, R. F. (2020). Analisis Pemanfaatan Limbah Padat Pabrik Kelapa Sawit. *Darul Lingkungan*, 3(2), 47–50. <https://doi.org/10.33087/daurling.v3i2.53>
- Habib, D. M. (2020). *Analisis Turbin Uap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi*.
- Hadi, I. (2021). *ANALISIS EFESIENSI TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR PADA PABRIK KELAPA SAWIT*.
- Ilham, M., & Aksar, P. (2021). *Analisis Pengaruh Nilai Beban Unit Terhadap Efisiensi dan Heat Rate Turbin Pada Pltu Moramo*. 6(September), 107–113.
- Listiana, I., & Efendi, I. (2018). Biomass analysis at palm oil factory as an electric power plant. *Faculty of Engineering*.
- Marsudi, D. (2011). *Pembangkitan Energi Listrik, Edisi Kedua* (A. M. D. Lemeda Simarmata (ed.); Edisi Kedu). Erlangga.
- MP Saragih, SA Saragih, M. N. D. (2017). Pengaruh Variasi Tekanan Uap Outlet SuperHeater Terhadap Performance Turbin Uap Di PT.Perkebunan Nusantara V Sei Pagar. *Teknik Mesin*, 1, 2–3.

- Mulyono, M., Priyoatmojo, S., & Zulaikhah, U. (2020). Analisis Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Gas Dan Hsd (High Speed Diesel) Terhadap Kinerja Dan Produksi Gas Buang Pembangkit Pada Variasi Beban PLTGU X. *Eksergi*, 16(3), 136. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v16i3.2217>
- Pangkung, A., Nawir, H., & Santoso, A. N. A. (2021). Analisis Pengaruh Perubahan Beban Generator Terhadap Efsiensi Kinerja PLTU Bosowa Energi Jenepono Unit 2. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 18(2), 241. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v18i2.2691>
- Parinduri, L. (2016). Analisa Pemanfaatan Biomassa Pabrik Kelapa Sawit Untuk Sumber Pembangkit Listrik. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 1(2), 37–40.
- Purba, J. (2018). Analisa Terhadap Salah Satu Turbin Uap yang Ada di PKS Tanjung Garbus Pagar Merbau, PTPN II. *Notes and Queries*, s5-XI(279), 343–344. <https://doi.org/10.1093/nq/s5-XI.279.343>
- Ramadhan, A. I., & Jakarta, U. M. (2016). *Analisis Pengaruh Pemakaian Bahan Bakar Terhadap Efisiensi HRSG KA13E2 Di Muara Tawar Combine Cycle Power Plant. March.*
- Ridho Fadilah. (2014). *Makalah Ketel Uap | Ridho Fadilah.* [https://www.academia.edu/8596574/Makalah\\_Ketel\\_Uap?login=&email\\_was\\_taken=true&login=&email\\_was\\_taken=true&login=&email\\_was\\_taken=true](https://www.academia.edu/8596574/Makalah_Ketel_Uap?login=&email_was_taken=true&login=&email_was_taken=true&login=&email_was_taken=true)
- Rizca, M. M. N., Sholehah, Q., & Siswanto, S. (2018). Anlisis Beban Generator Terhadap Nilai Heat Rate Dan Efisiensi PLTU (Studi Observasional Di PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA, Tbk P-12 TARJUN - KALIMANTAN SELATAN). *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 3(2), 73–84. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v3i2.13>
- Satrio, D. (2021). Analysis of the Effects of Fuel Type Selection on the Performance and Fuel Consumption. *International Journal on Advanced Science*

*Engineering and Information Technology*, 11(October 2021).  
<https://doi.org/10.18517/ijaseit.11.5.14224>

Setiawan, F., Melkias, A., & Slameto. (2022). Analisis Kinerja Turbin Uap Unit 1 Di Cirebon Power. *Jurnal Teknik Energi*, 11(2), 7–11.  
<https://doi.org/10.35313/energi.v11i2.3517>

Soelaiman, Sofyan, N. P. (1958). *Analisa prestasi kerja turbin uap pada beban yang bervariasi*. 1–12.

Sulasno, I. (1990). *Pusat Pembangkit Tenaga Listrik* (1st ed.). SATYA WACANA.

Sunarlik, W. (2017). Prinsip Kerja Generator. *Prinsip Kerja Generator Sinkron*, 6.

Uloli, H., Rauf, I. F., & Giu, J. D. (2019). *Minyak Residu Terhadap Produksi Uap Pada Boiler Tipe Emo Kapasitas 5 Ton*. 2019(November), 187–193.

Wahyudi, B. (2019). *ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP TERHADAP KAPASITAS LISTRIK PEMBANGKIT*.

Wołowicz, M., Milewski, J., & Badyda, K. (2012). Feedwater repowering of 800 MW supercritical steam power plant. *Papers.Itc.Pw.Edu.Pl*, 92(2), 127–134.

Yanto. (2016). *Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Tenaga Uap Guna Memenuhi Kebutuhan Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina*.

## LAMPIRAN



**Lampiran 1 Lokasi Penelitian**



**Lampiran 2 Salah Satu Tempat Pengambilan Data**



**Lampiran 3** Generator Turbin 800 kW



**Lampiran 4** Foto Bersama Manager dan Asisten Teknik

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Wahyu Ramadhoni  
Alamat : Pasar 6 Andansari link 18, Jl. Durung III  
Npm : 1907220039  
Tempat/Tanggal Lahir : Andansari, 24 November 2001  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Agama : Islam  
Status : Belum Menikah  
No Telepon/ Watsapp : 081360590408  
Email : [wahyuramadhoni5@gmail.com](mailto:wahyuramadhoni5@gmail.com)  
Tinggi/Berat Badan : 178 cm/88 kg  
Kewarganegaraan : Indonesia

### ORANG TUA

Nama Ayah : Irwan  
Agama : Islam  
Nama Ibu : Sri Wahyuni  
Agama : Islam  
Alamat : Pasar 6 Andansari link 18, Jl. Durung III

### RIWAYAT PENDIDIKAN

2006-2007 : TK Dr Wahidin Sudirohusodo  
2007-2013 : SD Negeri 106798  
2013-2016 : SMP Negeri 1 Hampan Perak  
2016-2019 : SMA Negeri 1 Hampan Perak  
2019-2023 : S1 Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

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/2019

Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003

<https://fatek.umsu.ac.id> [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id) [f umsumedan](#) [@umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

**Nomor : 199/II.3AU/UMSU-07/F/2023**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Elektro Pada Tanggal 27 Februari 2023 dengan ini Menetapkan :

Nama : WAHYU RAMADHONI  
Npm : 1907220039  
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO  
Semester : 8 ( Delapan )  
Judul Tugas Akhir : ANALISA PEMAKAIAN BEBAN TERHADAP KAPASITAS  
PENGUNAAN TURBIN 800 KW PADA PTPN IV UNIT PKS BERANGIR

Pembimbing : FAISAL IRSAN PASARIBU ST. MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

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

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

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.

Medan, 07 Syaban 1444 H

27 Februari 2023 M



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT

NIDN: 0101017202





## PT. PERKEBUNAN NUSANTARA - IV PKS BERANGIR

Alamat: PKS Berangir, Kecamatan NA IX-X,  
Kabupaten Labuhanbatu Utara

Nomor :

Berangir, 21 Agustus 2023

Lamp : -

Hal : Izin Pengambilan Data

Kepada Yth :

Dekan

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)

Fakultas Teknik

Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan

Di

Medan

*Ref.surat:733/li.3.AU/UMSU-07/B/2023 tanggal 21 Agustus 2023, perihal Pengambilan Data*

Dengan ini kami sampaikan bahwa Mahasiswa Program Studi S1 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) Medan atas nama :

Nama : Wahyu Ramadhoni  
NPM : 1907220039  
Jurusan : Teknik Elektro  
Judul Tugas akhir : Analisa Pemakaian beban Terhadap kapasitas Penggunaan Generator Turbin 800 KW Pada PTPN IV Unit PKS Berangir

Diizinkan untuk melakukan pengambilan data di PT. Perkebunan Nusantara IV PKS Berangir dengan pengambilan data yang dicari sbb :

1. Ampere (beban) pada stasiun
2. Tegangan
3. Spesifikasi turbin / Generator
4. Bahan Bakar Yang Digunakan

Demikian disampaikan, terima kasih.

PT. PERKEBUNAN NUSANTARA IV  
PKS BERANGIR

**Rahyumi Aisa**  
MANAJER PKS

Tembusan :

- GMD-1
- 04.07
- Pertinggal



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Wahyu Ramadhoni  
NPM : 197220039  
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : "Analisa Pemakaian Beban Terhadap Kapasitas  
Penggunaan Turbin 800 KW Pada PTPN IV Unit PKS  
Berangir"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	1-3-2023	Rapikan judul	
2	4-3-2023	Generator dan Turbin sertakan gambar nya	
3	8-3-2023	Buat keterangan di setiap gambar dan jelaskan cara bergajanya	
4	11-3-2023	Buat Spesifikasi Turbin dan Generator	
5	14-3-2023	Tambahkan prosedur Penelitian	
6	17-3-2023	Diagram alir dan rapikan daftar pustaka	
7	18-3-2023	Acc Untuk di semprokan	

Mengetahui,  
Pembimbing

Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Wahyu Ramadhoni  
NPM : 1907220039  
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : "Analisa Pemakaian Beban Terhadap Kapasitas Penggunaan Generator Turbin 800 KW Pada PTPN IV Unit PKS Berangir"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1.	17-7-2023	Perbaiki Tabel Data dan Analisa Data pada beban yang dihitung	
2.	29-7-2023	Cari dan tambahkan faktor yang mempengaruhi beban dalam ruang lingkup bahan bakar	
3.	31-7-2023	Cari dan tambahkan perhitungan bahan bakar sesuai jumlah bahan bakar ditempat Penelitian.	
4.	7-8-2023	Tambahkan pembahasan tentang bahan bakar pada Abstrak	
5.	16-8-2023	A.T.C centele di seminar Etasiklan	

Mengetahui,  
Pembimbing

Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Wahyu Ramadhoni  
NPM : 1907220039  
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : "Analisa Pemakaian Beban Terhadap Kapasitas Penggunaan Generator Turbin 800 KW Pada PTPN IV Unit PKS Berangir"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1.	19-8-2023	Perbaiki Tabel Data, Spasi, Analisa Data Serta Kesimpulan.	
2.	21-8-2023	Acc Untuk di Sidangkan	

Mengetahui,  
Pembimbing



Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T

# ANALISA PEMAKAIAN BEBAN TERHADAP KAPASITAS PENGUNAAN GENERATOR TURBIN 800 KW PADA PTPN IV UNIT PKS BERANGIR

**Wahyu Ramadhoni**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan, 20238

Email : [wahyuramadhoni@gmail.com](mailto:wahyuramadhoni@gmail.com)

**Abstrak--** Energi adalah kebutuhan pokok manusia untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Perkembangan teknologi dan industri yang pesat akan mendorong peningkatan kebutuhan energi. Salah satu energi yang sangat besar pemanfaatannya adalah energi listrik. Dalam menghadapi tantangan energi dan lingkungan saat ini, mencari sumber energi alternatif yang murah, efisien, dan berkelanjutan semakin mendesak. Salah satu opsi yang menarik adalah pemanfaatan cangkang dan *fiber* sebagai sumber bahan bakar. Cangkang dan *fiber* yang merupakan sisa dari pengolahan TBS dari pabrik kelapa sawit yang memiliki potensi besar dalam penggunaan energi yang ramah lingkungan. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, sejumlah perusahaan besar seperti PT. Perkebunan Nusantara (PTPN) mengambil inisiatif untuk membangun pembangkit listrik sendiri. Salah satu pembangkit tersebut berada di PTPN IV Unit PKS Berangir yang memanfaatkan turbin sebagai sumber energi turbin sebagai sumber energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisa pemakaian turbin uap (PLTU) guna memenuhi kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di PTPN IV Unit PKS Berangir. Setelah melakukan kajian dengan pengamatan analisa data di lapangan, diketahui pemakaian turbin uap maksimum sebesar 574,19 kW atau 71,77% dari kapasitas turbin yang digunakan. Untuk jumlah pemakaian bahan bakar cangkang dan *fiber* 132,96 Ton/hari dengan energi 13.780,56 kWh/hari sedangkan Untuk jumlah bahan bakar minyak 1200 liter/hari dengan energi 1200 kWh/hari. Maka dari hasil penelitian ini menyimpulkan pemakaian pada PTPN IV Unit PKS Berangir masih mencukupi untuk kapasitas turbin yang terpakai dan pemakaian bahan bakar (cangkang dan *fiber*) jauh lebih banyak membutuhkan bahan bakar dengan energi yang lebih besar pula di bandingkan pada bahan bakar minyak.

**Kata Kunci :** Energi Listrik, Beban Listrik, Pembangkit, Bahan Bakar

**Abstract--** Energy is a basic human need to carry out daily activities. The rapid development of technology and industry will drive an increase in energy demand. One of the very large energy utilization is electrical energy. In facing the current energy and environmental challenges, finding alternative energy sources that are cheap, efficient and sustainable is increasingly urgent. One interesting option is the use of shells and fiber as a fuel source. Shells and fibers which are the residue from the processing of FFB from palm oil mills have great potential in using environmentally friendly energy. To meet this need, a number of large companies such as PT. Perkebunan Nusantara (PTPN) took the initiative to build its own power plant. One of these generators is at PTPN IV PKS Berangir Unit which utilizes turbines as a source of energy. This study aims to analyze the use of steam turbines (PLTU) to meet the needs of electrical energy in the palm oil processing at PTPN IV PKS Berangir Unit. After conducting a study by observing data analysis in the field, it is known that the maximum use of a steam turbine is 574.19 kW or 71.77% of the turbine capacity used. The total use of shell and fiber fuel is 132.96 tons/day with an energy of 13,780.56 kWh/day while for the amount of fuel oil it is 1200 liters/day with an energy of 1200 kWh/day. So from the results of this study it is concluded that the use of PTPN IV Berangir PKS Unit is still sufficient for the used turbine capacity and the use of fuel (shell and fiber) requires far more fuel with greater energy than fuel oil.

**Keywords :** Electrical Energy, Electrical Expenses, Generators, Fuel

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan peningkatan jumlah penduduk mengakibatkan permintaan energi listrik semakin meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, sejumlah perusahaan besar seperti Perusahaan Perkebunan Nusantara (PTPN) mengambil

inisiatif untuk membangun pembangkit listrik sendiri. Salah satu pembangkit tersebut berada di PTPN IV Unit PKS Berangir yang memanfaatkan turbin sebagai sumber energi turbin sebagai sumber energi listrik[1].

Energi adalah kebutuhan pokok manusia untuk melakukan aktivitas sehari-hari.

Perkembangan teknologi dan industri yang pesat akan mendorong peningkatan kebutuhan energi. Salah satu energi yang sangat besar pemanfaatannya adalah energi listrik. Pemanfaatan energi listrik terus bertambah mulai dari rumah tangga, perusahaan/ pabrik, perkantoran, dan lain-lain. Seiring dengan berjalannya waktu perkembangan dunia industri semakin pesat. Salah satu opsi yang menarik adalah pemanfaatan cangkang dan *fiber* sebagai sumber bahan bakar. Cangkang dan *fiber* yang merupakan sisa dari pengolahan TBS dari pabrik kelapa sawit yang memiliki potensi besar dalam penggunaan energi yang ramah lingkungan[2]. Dalam proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak mentah (*crude oil palm*) dan inti sawit (kernel) diperlukan energi listrik untuk menggerakkan seluruh mesin produksi di dalam pabrik[3]. Oleh karena listrik yang diperlukan dalam proses pengolahan kelapa sawit sangat besar dan tidak memungkinkan untuk seluruhnya disuplai dari Perusahaan Listrik Negara (PLN), maka setiap Pabrik Kelapa Sawit memiliki pembangkit listrik sendiri untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di dalam proses pengolahan kelapa sawit[4].

Turbin adalah mesin yang digunakan untuk menghasilkan daya listrik dari energi kinetik air atau uap. Turbin memiliki kapasitas tertentu yang dapat digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Oleh karena itu, pemilihan turbin harus didasarkan pada beban listrik yang akan digunakan. Jika beban listrik melebihi kapasitas turbin, maka kinerja

turbin akan menurun dan dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan[5].

Tujuan penelitian ini untuk melakukan analisa pemakaian turbin uap (PLTU) guna memenuhi kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di PTPN IV Unit PKS Berangir.

## II. STUDI PUSTAKA

### A. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap secara terus menerus mengubah energi yang ada di dalam bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi, gas alam) atau bahan bakar fisi (*uranium, thorium*) dalam bentuk poros kerja dan akhirnya menjadi energi listrik. Kinerja *fluida* adalah air yang sewaktu-waktu berada pada fasa cair dan sewaktu-waktu pada fasa uap selama siklus beroperasi[6].

PLTU merupakan suatu energi pembangkit tenaga listrik yang mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan uap air sebagai *fluida* kerjanya, yaitu dengan memanfaatkan energi energi uap untuk menggerakkan proses sudu-sudu turbin menggerakkan poros turbin, untuk selanjutnya poros turbin menggerakkan generator yang kemudian dibangkitkannya energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan akan menyuplai alat-alat yang disebut beban[7].

### B. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Adapun cara kerja/prinsip kerja PLTU adalah berdasarkan siklus *Rankine*. Siklus *Rankine* terdiri dari beberapa proses sebagai berikut[8]:

- Proses pemompaan isentropik, didalam pompa.
- Proses pemasukan kalor atau pemanasan pada tekanan konstan, di dalam ketel uap.
- Proses ekspansi isentropic didalam turbin atau mesin uap lainnya.
- Proses pengeluaran kalor atau pengembunan pada tekanan konstan, didalam kondensator.

Secara sederhana prinsip kerjanya adalah sebagai berikut: Air masuk ke sistem destilasi (proses pemurnian) menjadi air suling, kemudian di pompa masuk ke tangka air (*reservoir*). Kemudian melalui *demineralizer*, dimana terjadi proses pemisah mineral-mineral, air dimasukkan kedalam tangka berikutnya. *Temperature* air disini sekitar 34° C. Melalui ekonomiser air ditingkatkan suhunya, kemudian ke pemanas tekanan rendah ke ke pemanas tekanan tinggi, sampai suhu 70° C. Pemanasan ini perlu dilakukan untuk menghindari adanya tekanan termal (perubahan suhu mendadak) yang akan dialirkan ke *boiler* untuk di uapkan. Selanjutnya ke pemanasan lanjut primer dan pemanasan lanjut sekunder mengalir menggerakkan turbin[9].

#### C. Turbin Uap

Turbin merupakan mesin penggerak, dimana energi fluide kerja dipergunakan langsung untuk memutarinya. Dengan adanya energi kinetis uap yang digunakan langsung untuk memutar turbin, maka dapat dikatakan bahwa kemajuan teknologi turbin adalah mengambil manfaat sebesar-besarnya dari energi fluide kerja yang

tersedia, mengubahnya menjadi energi mekanis dengan efisiensi maksimum[10].

Turbin Uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Dengan kata lain mengubah energi entalpi fluide menjadi energi mekanik.

Turbin Uap merupakan salah satu komponen dasar dalam pembangkit listrik tenaga uap, dimana komponen utama dari sistem tersebut yaitu : Ketel, kondensator, pompa air ketel, dan turbin itu sendiri. Uap yang berfungsi sebagai *fluida* kerja dihasilkan oleh ketel uap, yaitu suatu alat yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap yang akan menghasilkan energi listrik[11].

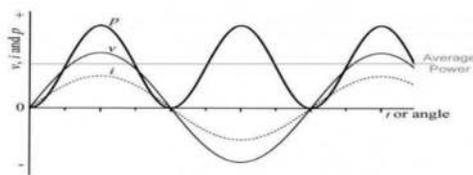
#### D. Generator

Generator AC (*Alternating Current*) yang akan dibahas adalah generator yang termasuk jenis mesin serempak (mesin sinkron) dimana frekuensi listrik yang dihasilkan sebanding dengan jumlah kutub dan putaran yang dimilikinya. Listrik yang dihasilkan adalah listrik arus bolak balik (listrik AC). Mesin penggeraknya dapat berasal dari tenaga air, tenaga uap, mesin diesel, dan sebagainya. Generator AC banyak kita jumpai pada pusat-pusat listrik (dengan kapasitas yang relatif besar). Disini umumnya generator AC disebut dengan alternator atau generator saja. Selain generator AC dengan kapasitas yang relatif besar tersebut, kita mengenal pula generator dengan kapasitas yang relatif kecil. Misalnya generator yang dipakai untuk penerangan darurat dan untuk penerangan daerah-daerah

terpencil. Generator tersebut sering disebut *home light* atau generator set[12].

#### E. Beban Resistif (R)

Merupakan beban yang hanya terdiri dari komponen ohm (*resistance*). Alat listrik yang termasuk beban resistif bekerja berdasarkan prinsip *resistor*, sehingga arus listrik yang melewatinya akan terhambat dan akibatnya alat listrik tersebut akan menghasilkan panas. Beban resistif mencakup elemen pemanas (*heating element*) dan lampu pijar. Beban jenis resistif hanya mengonsumsi beban aktif dan mempunyai faktor daya bernilai satu. Secara matematis, beban resistif dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:



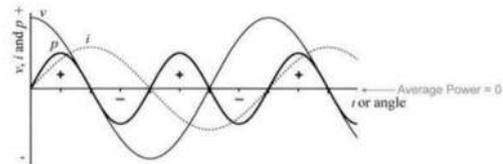
Gambar 1 Gelombang Sinusoidal Beban Resistif

Pada gelombang tegangan dan arus listrik berada pada fase yang sama maka nilai dari daya listrik akan selalu positif. Inilah mengapa beban resistif murni akan selalu ditopang oleh 100% daya nyata.

#### F. Beban Induktif (L)

Merupakan beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti *coil*, transformator dan solenoid. Beban induktif dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga bersifat tertinggal (*lagging*) sebesar  $90^\circ$  terhadap tegangan. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis yang akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjaditertinggal terhadap tegangan. Beban jenis induktif menyerap daya aktif dan

daya reaktif. Contoh beban induktif dikehidupan sehari-hari yaitu motor listrik, mesin las listrik, lampu hemat energi, dll. Secara matematis, beban induktif dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:



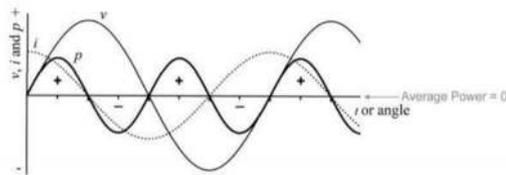
Gambar 2 Gelombang Sinusoidal Beban Induktif

Nampak pada gelombang sinusoidal listrik AC di atas, bahwa jika sebuah sumber listrik AC diberi beban induktif murni, maka gelombang arus listrik akan tertinggal sejauh  $90^\circ$  oleh gelombang tegangan. Atas dasar inilah beban induktif dikenal dengan istilah beban *lagging* (arus tertinggal tegangan). Nampak pula bahwa dikarenakan pergeseran gelombang arus listrik di atas, maka nilai daya listrik menjadi bergelombang sinusoidal. Pada seperempat gelombang pertama daya diserap oleh beban induktif, namun pada seperempat gelombang kedua daya dikembalikan lagi ke sumber listrik AC. Hal ini menunjukkan bahwa beban induktif murni tidak mengonsumsi daya nyata sedikitpun, beban induktif murni hanya memakai daya reaktif saja.

#### G. Beban Kapasitif (C)

Merupakan beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu rangkaian listrik. Hal ini dapat mengakibatkan arus mendahului tegangan (*leading*). Beban kapasitif menyerap daya aktif dan

mengeluarkan daya reaktif. Alat listrik yang termasuk jenis beban kapasitif adalah kapasitor atau kondensator. Secara matematis, beban kapasitif dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut[13]:



Gambar 3 Gelombang Sinusoidal Kapasitif

Pada gelombang sinusoidal tegangan dan arus listrik AC pada beban kapasitor murni. Mendapatkan *supply* tegangan AC naik dan turun, maka kapasitor akan menyimpan dan melepaskan tegangan listrik sesuai dengan perubahan tegangan masuknya. Fenomena inilah yang mengakibatkan gelombang arus AC akan mendahului (*leading*) tegangan sejauh  $90^\circ$ .

### III. METODE

#### A. Lokasi Penelitian

Tempat penelitian ini di laksanakan di PT. Perkebunan Nusantara IV (PTPN IV) Unit PKS Berangir yang terletak di Jalan Jalinsum, Simpang Marbau, Kec. Na IX-X, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.

#### B. Peralatan Penelitian

Bahan dan alat yang digunakan adalah pertama, alat dan mesin-mesin listrik yang digunakan pada proses produksi di PT.Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir. Kedua, peralatan yang digunakan untuk pengukuran dan pengolahan data, yaitu alat-alat ukur yang terpasang pada setiap mesin proses produksi. Ketiga, kamera digital dan seperangkat yaitu :

7. *Control Panel*
  8. Tang Ampere Digital
  9. Buku dan Pulpen
  10. MCB (*Miniature circuit breaker*)
  11. Ampere Meter
  12. Volt Meter
- C. Teknik Pengumpulan Data

Adapun metode penelitian yang dilakukan adalah pengelompokan sumber data yang diperlukan seperti beban (Ampere), Volt,  $\cos \alpha$  dan Bahan Bakar Turbin dan mengidentifikasi data-data tersebut. Setelah itu, dilakukan analisi data untuk menentukan metode pengambilan data dalam kurun 1 bulan pada saat pabrik beroperasi Sehingga data tersebut dapat dievaluasi pada tahap pemeriksaan menyeluruh. Setelah ditemukan metode pengambilan data, selanjutnya dilakukan pemeriksaan menyeluruh dengan melakukan pengamatan terhadap alat ukur yang digunakan dan melakukan analisa, baik terhadap alat yang digunakan secara kontinu maupun alat yang bersifat tidak tetap. Tahapan selanjutnya dari pemeriksaan menyeluruh ini adalah melakukan pemeriksaan dan pencacatan atau pengambilan data. Pengambilan data dilakukan dengan cara yaitu Pengumpulan data sekunder[14].

Data sekunder merupakan data penunjang yang diperoleh dari pihak instansi termasuk data yang tidak dapat diukur di setiap stasiun yang berada pada PKS Berangir dan data hasil pengamatan langsung. Dalam metode analisis ataupun perhitungan data pada Generator Turbin dan Beban (Ampere) yang tidak terlepas dari tujuan dari penelitian ini maka peneliti menggunakan beberapa persamaan

berikut: untuk menghitung seberapa besar pemakaian beban pada dalam operasional pabrik PTPN IV Unit PKS Berangir.

Penulis menggunakan persamaan sebagai berikut:

1. Daya Aktif (kW)

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \alpha \quad (1)$$

2. Daya Semu (kVA)

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2)$$

3. Daya Reaktif (kVAr)

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (3)$$

4. Energi Listrik (kWh)

$$E = P \times t \quad (4)$$

5. Rugi-Rugi Daya (kW)

$$P_{Loss} = I^2 \times R \quad (5)$$

Untuk menghitung jumlah bahan bakar yang digunakan dan faktor yang mempengaruhi beban listrik pada bahan bakar PLTU[15].

Penulis menggunakan persamaan sebagai berikut:

6. Bahan Bakar Fiber

$$\text{Fiber} = 14\% \times \text{proses TBS/Hari} \quad (6)$$

7. Bahan Bakar Cangkang

$$\text{Cangkang} = 5\% \times \text{Proses TBS/Hari} \quad (7)$$

8. Kebutuhan Listrik dan Kapasitas Turbin/Hari (kWh)

$$TE = \sum_{g=1}^n E_g \times \sum (t)E TE \quad (8)$$

9. Energi Bahan Bakar Minyak

$$E = \text{Jumlah (Liter)} \times \text{Waktu (Jam)} \quad (9)$$

D. Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah analisis yang dilakukan di penelitian ini yaitu :

1) Melakukan Observasi di PTPN IV Unit PKS Berangir untuk mencari permasalahan di PKS Unit Berangir.

2) Melakukan Wawancara langsung di PTPN IV Unit PKS Berangir seperti wawancara pada karyawan, asisten teknik dan manager.

3) Pengambilan Data penelitian dengan menggunakan Tang Ampere Digital untuk mengambil beban dipanel di setiap MCB induk di setiap stasiun dilakukan pada bulan januari 2023 saat pabrik beroperasi.

4) Pengambilan Data tersebut diambil setiap hari saat pabrik sedang mengolah dan diambil dari jam 08:00 WIB – 17:00 WIB. Data tersebut di ambil satu jam sekali.

5) Setelah seluruh data sudah di dapatkan, data tersebut di analisa atau di hitung di antaranya menggunakan :

a. Mengitung daya yang digunakan pada PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir.

- Rumus Daya aktif (P), Daya Semu (S) dan Daya Reaktif (Q) Dapat dihitung dengan rumus :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \alpha \quad (1)$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (3)$$

Dimana :

- V adalah Tegangan Listrik (Volt)
- I adalah arus listrik (ampere)
- Cos  $\alpha$  adalah faktor daya

- Rumus Kebutuhan Energi dapat dihitung dengan rumus :

$$E = P \times t \quad (4)$$

Dimana :

- E adalah energi yang di butuhkan (Kilowatt/hour)
- P adalah daya listrik (Kilowatt)
- t adalah waktu penggunaan (jam)
- Rumus kerugian daya dapat dihitung dengan rumus :

$$P_{Loss} = I^2 \times R \quad (5)$$

Dimana :

- $P_{Loss}$  adalah kerugian daya (watt)
- I adalah arus listrik (ampere)
- R adalah resistansi (ohm)

b) Menghitung perbandingan kinerja pada bahan bakar biomasa dan bahan bakar minyak yang terdapat pada PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir.

6) Setelah menganalisa data tersebut tahap selanjutnya yaitu membuat kesimpulan dan saran sesuai hasil pembahasan yang telah di dapat.

#### IV. HASIL PEMBAHASAN

Data hasil penelitian diambil berdasarkan beban maksimum di setiap hari pada saat pabrik beroperasi selama sebulan. Data hasil penelitian diambil dengan metode observasi yang di gunakan untuk mempermudah dalam penyelesaian masalah. Dalam pengambil dan data di PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir saat pabrik beroperasi mulai tanggal 11, 12, 16, 17, 20, 21, 23, 24, 27, dan 28 Januari 2023 adapun hasil analisa sebagai berikut:

##### A. Analisa Data Beban

Pada 15 Stasiun yang meliputi Loading Ram 1, Loading Ram 2, Rebusan, Mono Press 1, Mono Press 2, Tankos, Pabrik Minyak 1, Pabrik Minyak 2, Pabrik Minyak 3, Pressan 1,

Pressan 2, Pabrik Biji, Boiler, Kamar Mesin, serta Kantor/bengkel dan data di ambil dari jam 08:00 WIB s/d 17:00 WIB.

Table 1 Data Awal Beban Tanggal 11-01-2023

No.	Tanggal	Pukul	R <sub>total</sub>	S <sub>total</sub>	T <sub>total</sub>	I <sub>total</sub>
1.	11-1-2023	08:00	2024 A	1984 A	1987 A	1988,3 A
2.	11-1-2023	09:00	2153 A	2169 A	2179 A	2167 A
3.	11-1-2023	10:00	2225 A	2257 A	2236 A	2349 A
4.	11-1-2023	11:00	2380 A	2367 A	2250 A	2332,3 A
5.	11-1-2023	12:00	2352 A	2323 A	2266 A	2313,6 A
6.	11-1-2023	13:00	2380 A	2367 A	2250 A	2218 A
7.	11-1-2023	14:00	2253 A	2324 A	2301 A	2292,6 A
8.	11-1-2023	15:00	2483 A	2531 A	2572 A	2529,6 A
9.	11-1-2023	16:00	2549 A	2611 A	2512 A	2557,3 A
10.	11-1-2023	17:00	2512 A	2409 A	2576 A	2499 A

Berdasarkan data di atas dapat di hitung pemakaian beban yang dihasilkan oleh generator turbin pada saat pabrik beroperasi. Pemakaian beban yang di hasilkan generator turbin dapat di ketahui menggunakan persamaan 1-5. Berikut adalah hasil perhitungan beban pada tanggal 11 Januari 2023 dari jam 08:00 WIB s/d 17:00 WIB

Table 2 Hasil Analisa Tanggal 11-01-2023

Pukul	P	S	Q	Ploss	Energi
08:00	441,2 kW	551,5 kVA	330,9 kVAr	751,1 kW	10588,8 kWh
09:00	480,9 kW	601,1 kVA	360,6 kVAr	798,3 kW	11541,6 kWh
10:00	521,3 kW	641,6 kVA	390,9 kVAr	883 kW	12511,1 kWh
11:00	517,5 kW	646,9 kVA	388,1 kVAr	870,3 kW	12420 kWh
12:00	513,4 kW	641,7 kVA	384,9 kVAr	856,4 kW	12321 kWh
13:00	492,2 kW	615,2 kVA	369 kVAr	836,3 kW	11712,8 kWh
14:00	508,7 kW	635,9 kVA	381,5 kVAr	840,9 kW	12208,8 kWh
15:00	561,3 kW	701,7 kVA	421 kVAr	959,8 kW	13471,2 kWh
16:00	567,5 kW	709,3 kVA	425,4 kVAr	980,9 kW	13620 kWh
17:00	554,5 kW	693,2 kVA	415,9 kVAr	936,7 kW	13308 kWh

Berdasarkan dari perhitungan analisa data pada tanggal 11 Januari 2023 menghasilkan daya rata-rata sebesar 515,85 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Maka pemakaian beban pada kapasitas turbin yang terpasang masih 64,48% mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir.

Untuk perhitungan analisa pada tanggal 12, 16, 17, 20, 21, 23, 24, 27, dan 28 Januari 2023 menggunakan persamaan dan cara yang sama dengan analisa pada tanggal 11 Januari 2023.

Dari perhitungan analisa data dari tanggal 11, 12, 16, 17, 20, 21, 23, 24, 27, dan 28 Januari 2023 yang terbesar pada tanggal 12 Agustus 2023 menghasilkan daya rata-rata sebesar 574,19 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Maka pemakaian beban pada kapasitas turbine yang terpasang masih 71,77% mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir.

#### B. Analisa Data Bahan Bakar

Faktor yang mempengaruhi Beban Pada Turbine ada beberapa seperti pada Jam Kerja, Kondisi Operasional, Efisiensi Turbin, Suhu Uap, Bahan Bakar dan lain-lain. Pada penelitian ini hanya membahas pengaruh beban pada Bahan Bakar Biomasa (Cangkang dan *Fiber*) dan Bahan Bakar Minyak.

Table 3 Data Awal Bahan Bakar

No.		Jenis Bahan Bakar		
		Cangkang	<i>Fiber</i>	Minyak
1.	Jumlah pemakaian	5%	14%	50 Liter/jam

##### 1) Bahan Bakar Biomasa

Berdasarkan jumlah bahan bakar yang tersedia pada PT. Perkebunan IV Unit PKS

Berangir dengan kapasitas pengolahan 700 ton TBS/Hari atau 29,16 ton TBS/Jam serta pemakaian terbesar pada pemakaian pabrik 574,19 kW, maka dihasilkan TBS/hari dengan energi masing-masing sebesar yaitu:

$$1. \text{Fiber} = 14\% \times 29,16 \text{ ton} = 4,082 \text{ ton} \times 24 \text{ jam} = 97,968 \text{ ton/hari}$$

$$2. \text{Cangkang} = 5\% \times 29,16 \text{ ton} = 1,458 \text{ ton} \times 24 \text{ jam} = 34,992 \text{ ton/hari}$$

##### a) Kapasitas Turbin Perhari

$$E_g = 800 \text{ kW}$$

$$(t) E = 24 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} TE &= \sum_{g=1}^n E_g \times \sum (t)E TE \\ &= 800 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} \\ &= 19.200 \text{ kWh} \end{aligned}$$

##### b) Kebutuhan Listrik Pabrik Perhari

$$E_g = 574,19 \text{ kW}$$

$$(t) E = 24 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} TE &= \sum_{g=1}^n E_g \times \sum (t)E TE \\ &= 574,19 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} \\ &= 13.780,56 \text{ kWh} \end{aligned}$$

##### 2) Bahan Bakar Minyak

Berdasarkan pemakaian BBM pada PT. Perkebunan IV Unit PKS Berangir 50 liter/jam dan sesuai data yang didapat pada PTPN IV Unit PKS Berangir dalam 1 jam bisa menghasilkan 50 kWh. Maka energi listrik yang di hasilkan pada 1 bulan yaitu :

$$\text{Energi} = \text{Jumlah Bahan bakar (Liter)}$$

$$E = \text{Jumlah (Liter)} \times \text{waktu (jam)}$$

$$\text{Energi 1 hari} = 50 \text{ liter} \times 24 \text{ jam}$$

$$\text{Energi 1 hari} = 1200 \text{ kWh/hari}$$

Table 4 Hasil Analisa Bahan Bakar

No.	Jenis Bahan Bakar	Pemakaian/Hari	Energi/Hari
1.	Minyak	1200 Liter/Hari	1200 kWh
2.	Biomasa	<i>Fiber</i> : 97,968 Ton/Hari Cangkang: 34,992 Ton/Hari	13.780,56 kWh

Berdasarkan analisa bahan bakar Biomasa dan BBM dapat diketahui perbedaan energi listrik yang digunakan diketahui pada bahan bakar Biomasa menghasilkan 13.780,56 kWh/hari dengan jumlah bahan bakar 34,992 ton/hari untuk cangkang dan 97,968 ton/hari untuk *fiber* sedangkan pada bahan bakar minyak menghasilkan 1200 kWh/hari dengan jumlah bahan bakar 1200 liter/hari maka dapat disimpulkan pemakaian bahan bakar (cangkang dan *fiber*) jauh lebih banyak membutuhkan bahan bakar dengan energi yang lebih besar pula di bandingkan pada bahan bakar minyak.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

3. Berdasarkan Hasil Analisa Pada PT. Perkebunan Nusantara IV Unit PKS Berangir terpasang 800 kW sedangkan total daya yang di keluarkan maksimal perhari 574,19 kW. Jika daya pada generator turbin terpasang berkapasitas 800 kW, Hasil perkalian antara kebutuhan listrik pabrik dengan lama penggunaan bahan bakar sebesar 13.780,56 kWh. Sedangkan kapasitas energi yang di hasilkan dari turbin yaitu 19.200 kWh atau masih 71,77% mencukupi untuk

memenuhi kebutuhan beban pada PTPN IV Unit PKS Berangir. Maka dapat dilihat kelebihan energi selama 24 jam yaitu sebesar 5.419,44 kWh.

4. Berdasarkan analisa bahan bakar Biomasa dan BBM dapat diketahui perbedaan energi listrik yang digunakan diketahui pada bahan bakar Biomasa menghasilkan 13.780,56 kWh/hari dengan jumlah bahan bakar 34,992 ton/hari untuk cangkang dan 97,968 ton/hari untuk *fiber* sedangkan pada bahan bakar minyak menghasilkan 1200 kWh/hari dengan jumlah bahan bakar 1200 liter/hari maka dapat disimpulkan energi yang digunakan pada bahan bakar biomasa jauh lebih besar daripada energi yang digunakan pada bahan bakar minyak.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yanto, "Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Tenaga Uap Guna Memenuhi Kebutuhan Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina," 2016.
- [2] A. Hammada Abbas, Jamaluddin, M Arif, "ANALISA PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK DENGAN TENAGA UAP DI PLTU," vol. 15, no. Nurmalita 2012, pp. 10–13, 2020.
- [3] I. Hadi, "ANALISIS EFESIENSI TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR PADA PABRIK KELAPA SAWIT," 2021.
- [4] J. Purba, "Analisa Terhadap Salah Satu Turbin Uap yang Ada di PKS Tanjung Garbus Pagar Merbau, PTPN

- II,” *Notes Queries*, vol. s5-XI, no. 279, pp. 343–344, 2018, doi: 10.1093/nq/s5-XI.279.343.
- [5] M. Ilham and P. Aksar, “Analisis Pengaruh Nilai Beban Unit Terhadap Efisiensi dan Heat Rate Turbin Pada Pltu Moramo,” vol. 6, no. September, pp. 107–113, 2021.
- [6] P. Mandyvo, “Analisa Performa Pembangkit Listrik Akibat Konsumsi Rumah Tangga Di Pks Ptpn Iv Kebun Adolina,” *Anal. Performa Pembangkit List. Akibat Konsumsi Rumah Tangga Di Pks Ptpn Iv Kebun Adolina*, vol. 4, no. 2, pp. 78–85, 2020.
- [7] F. Setiawan, A. Melkias, and Slameto, “Analisis Kinerja Turbin Uap Unit 1 Di Cirebon Power,” *J. Tek. Energi*, vol. 11, no. 2, pp. 7–11, 2022, doi: 10.35313/energi.v11i2.3517.
- [8] A. Pangkung, H. Nawir, and A. N. A. Santoso, “Analisis Pengaruh Perubahan Beban Generator Terhadap Efisiensi Kinerja PLTU Bosowa Energi Jeneponto Unit 2,” *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 18, no. 2, p. 241, 2021, doi: 10.31963/sinergi.v18i2.2691.
- [9] I. Sulasno, *Pusat Pembangkit Tenaga Listrik*, 1st ed. Semarang: SATYA WACANA, 1990.
- [10] N. P. Soelaiman, Sofyan, “Analisa prestasi kerja turbin uap pada beban yang bervariasi,” pp. 1–12, 1958.
- [11] D. Satrio, “Analysis of the Effects of Fuel Type Selection on the Performance and Fuel Consumption,” *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 11, no. October 2021, 2021, doi: 10.18517/ijaseit.11.5.14224.
- [12] B. Wahyudi, “ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP TERHADAP KAPASITAS LISTRIK PEMBANGKIT,” 2019.
- [13] M. D. Effendi, “Analisa Sistem Kelistrikan Pada Stasiun Pengolahan Kernel Kapasitas 50 Ton/Jam Di Pabrik Kelapa Sawit PT. SKL,” pp. 1–100, 2017.
- [14] E. R. EW, “Analisa Pengaruh Beban Listrik Terhadap Efisiensi Termal PLTU Payo Selincah Jambi,” *J. Inov.*, vol. 2, no. 1, pp. 29–33, 2019, doi: 10.37338/ji.v2i1.37.
- [15] R. F. G.M.Saragih, Hadrah, “Analisis Pemanfaatan Limbah Padat Pabrik Kelapa Sawit,” *Darul Lingkungan.*, vol. 3, no. 2, pp. 47–50, 2020, doi: 10.33087/daurling.v3i2.53.