

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP  
EFISIENSI GENERATOR KAPASITAS 12 MW DENGAN  
METODE TRIAL AND ERROR DI PT PERMATA  
HIJAU PALM OLEO BELAWAN**

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

Disusun Oleh :

**RAFQI NAULI LUBIS**

2007220090P



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Rafqi Nauli Lubis  
Tempat, Tanggal Lahir : Manduamas, 04 Oktober 1998  
NPM : 2007220090P  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

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

“Analisis Pengaruh Perubahan Beban terhadap Efisiensi Generator Kapasitas 12 MW dengan Metode Trial And Error di Pt Permata Hijau Palm Oleo Belawan”

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

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

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan keadaan sadar dan tidak dalam tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun, demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 September 2022

nyatakan,  


Rafqi Nauli Lubis

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Rafqi Nauli Lubis  
NPM : 2007220090P  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Perubahan Bebanterhadap Efisiensi Generator Kapasitas 12 Mw Dengan Metode Trial And Error Di Pt Permata Hijau Palm Oleo Belawan  
Bidang Ilmu : Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan di hadapan 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.

Medan, 21 September 2022

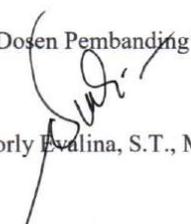
Mengetahui dan  
menyetujui:

Dosen Pembimbing



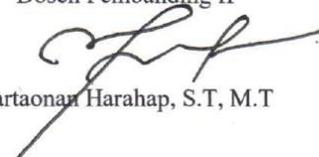
Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, M.M

Dosen Pembanding I



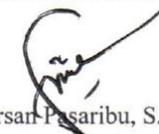
Noorly Ewalina, S.T., M.T

Dosen Pembanding II



Partaonan Harahap, S.T, M.T

Ketua Prodi Teknik Elektro



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

## ABSTRAK

Generator adalah mesin listrik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem pembangkitan tenaga listrik. Pada PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan generator yang dipakai adalah generator sinkron 3 fasa. Penggerak mula dari generator adalah turbin uap. Turbin uap dikopel seporos dengan generator. Turbin uap memberikan daya untuk memutar generator sehingga generator menghasilkan energi listrik, kapasitas daya listrik yang dapat dihasilkan generator tersebut 12 MW. Pada penelitian ini terdapat Hubungan perubahan beban dan efisiensi generator dengan metode Trial and Error pada PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan yaitu jika semakin besar daya keluarannya atau daya yang terpakai maka tingkat efisiensi generator akan semakin tinggi karena efisiensi generator sangat dipengaruhi oleh beban-beban yang terpakai yang sesuai dengan kemampuan dan kapasitas generator. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa dari 7 hari yang diambil sebagai sampel analisa data, terdapat salah satu data yang error sebesar 105,86 %, yang disebabkan oleh dalam proses pengambilan data dari equipment tidak valid, dan Efek kalibrasi pada alat ukur yang kurang maksimal.

**Kata Kunci** : Efisiensi Generator, Generator Sinkron, Perubahan Beban

## ABSTRACT

A generator is an electrical machine that converts mechanical energy into electrical energy. Generator is a very important part in the electric power generation system. At PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan the generator used is a 3-phase synchronous generator. The prime mover of the generator is a steam turbine. The steam turbine is coupled to a generator. The steam turbine provides power to turn the generator so that the generator produces electrical energy, the electrical power capacity that can be generated by the generator is 12 MW. In this study there is a relationship between changes in load and generator efficiency with the Trial and Error method at PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan, namely the greater the output power or the power used, the higher the efficiency of the generator because the efficiency of the generator is strongly influenced by the loads used. according to the capability and capacity of the generator. Based on these results, it was found that from 7 days taken as a sample of data analysis, there was one data error of 105.86%, which was caused by the process of taking data from invalid equipment, and the effect of calibration on measuring instruments was less than optimal.

**Keywords:** Generator Efficiency, Synchronous Generator, Load Change

## KATA PENGANTAR



Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Generator Kapasitas 12 MW dengan Metode *Trial And Error* di PT. Permata Hijau Palm Oleo Belawan” 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 menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, M.M.,,, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Noorly Evalina, S.T., M.T selaku Pembanding I yang telah memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini
3. Bapak Partaonan Harahap, S.T, M.T, selaku Pembanding II yang telah memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikelektroan kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

8. Orang tua saya ayah dan ibu, saudara-saudara kandung saya serta seluruh keluarga besar penulis yang telah membantu atas dukungan moril maupun material, semangat, bimbingan dan kasih sayang tulus selama ini kepada penulis.
9. Teman-teman dekat penulis serta seluruh teman-teman seangkatan yang telah membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis memohon saran dan kritik dari pembaca untuk perbaikan dalam penulisan Tugas Akhir ini kedepannya.

Akhir kata penulis menyampaikan terima kasih kepada para pembaca atas perhatiannya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis, bagi para pembaca umumnya dan bagi dunia kelistrikan khususnya.

Medan, 21 September 2022

Rafqi Nauli Lubis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	Error! Bookmark not defined.
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GRAFIK .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat.....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB 2 .....</b>	<b>4</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	4
2.2 Boiler .....	6
2.3 Turbin – Alternator.....	9
2.4 Back Pressure Vessel (BPV) .....	10
2.5 Generator Sinkron .....	11

2.6	Konstruksi Generator Sinkron.....	12
2.6.1	Stator.....	14
2.6.2	Rotor.....	15
2.7	Prinsip Kerja Generator Sinkron .....	17
2.8	Sistem Eksitasi.....	19
2.8.1	Sistem Eksitasi Dengan Sikat ( <i>Brush Excitation</i> ) .....	19
2.8.2	Sistem Eksitasi Tanpa Sikat ( <i>Brushless Excitation</i> ).....	20
2.9	Beban-Beban Listrik.....	21
2.9.1	Resistif.....	21
2.9.2	Induktif .....	21
2.9.3	Kapasitif .....	21
2.10	Reaksi Jangkar.....	21
2.10.1	Beban Resistif.....	22
2.10.2	Beban Kapasitif .....	22
2.10.3	Beban Kapasitif Murni .....	22
2.10.4	Beban Induktif Murni .....	23
2.11	Karakteristik Beban Generator .....	23
2.11.1	Generator Tanpa Beban.....	23
2.11.2	Generator Berbeban.....	24
2.12	Efisiensi Generator .....	24
2.13	Efek Perubahan Beban Terhadap Generator .....	25
<b>BAB 3</b>	.....	<b>26</b>
<b>METODE PENELITIAN</b>	.....	<b>26</b>
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	26
3.2	Bahan dan Peralatan .....	26
3.3	Teknik Pengumpulan Data .....	26

3.3.1	Data Primer.....	26
3.3.2	Data Sekunder .....	27
3.4	Bagan Alir Penelitian .....	27
3.5	Prosedur Penelitian.....	28
3.5.1	Mulai.....	28
3.5.2	Metode Pengumpulan Data .....	28
3.5.3	Pengambilan Data Analisa .....	28
3.5.4	Analisa data .....	28
3.5.5	Hasil dan Pembahasan.....	30
3.5.6	Kesimpulan Dan Saran.....	30
<b>BAB 4</b>	.....	<b>31</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	.....	<b>31</b>
4.1	Data spesifikasi Turbin.....	31
4.2	Data Spesifikasi Alternator (Generator Sinkron) .....	32
4.3	Analisa Data Operasional Harian .....	32
4.3.1	Data Tekanan Masuk dan Keluar Turbin .....	32
4.3.2	Perhitungan Daya Masuk ( $P_{in}$ ) dan Daya Keluaran ( $P_{out}$ ) Generator .....	34
4.3.3	Perhitungan Efisiensi Generator ( $\eta_g$ ).....	39
4.4	Analisa Data Trial And Erorr .....	40
<b>BAB 5</b>	.....	<b>45</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	.....	<b>45</b>
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran.....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>46</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>47</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Tekanan Uap masuk dan keluaran Turbin .....	33
Tabel 4.2 Hasil perhitungan Analisa P input dan P output Generator .....	38
Tabel 4.3 Hasil Analisa Perhitungan Efisiensi Generator .....	39
Tabel 4.4 Data Trial And Erorr .....	40

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Data Tekanan Uap Masuk dan Keluar Turbin .....	33
Grafik 4.2 Perbandingan Antara daya masuk ( $P_{in}$ ) dan Daya Keluaran ( $P_{out}$ ) Generator	38
Grafik 4.3 Hubungan antara daya masukan ( $P_{in}$ ) Efisiensi Generator .....	39
Grafik 4.4 Hubungan antara daya masukan ( $P_{out}$ ) Efisiensi Generator .....	40

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Boiler .....	7
Gambar 2.2 <i>Name Plate Boiler</i> .....	7
Gambar 2.3 Turbin – Alternator.....	10
Gambar 2.4 Black Pressure Vessel (BPV) .....	11
Gambar 2.5 Konstruksi Generator Sinkron.....	13
Gambar 2.6 Stator Generator Sinkron.....	14
Gambar 2.7 Bentuk Alur .....	14
Gambar 2.8 Rotor Generator Sinkron .....	15
Gambar 2.9 Rotor Kutub Menonjol .....	16
Gambar 2.10 Rotor Kutub Silindris .....	17
Gambar 2.11 Sistem Eksitasi Statis.....	19
Gambar 2.12 Sistem Eksitasi Dinamik .....	20
Gambar 2.13 Sistem Eksitasi Tanpa Sikat .....	20
Gambar 2.14 Reaksi Jangkar Beban Resistif .....	22
Gambar 2.15 Reaksi Jangkar Beban Kapasitif.....	22
Gambar 2.16 Reaksi Jangkar Beban Kapasitif Murni.....	23
Gambar 2.17 Reaksi Jangkar Beban Induktif Murni.....	23
Gambar 2.18 Karakteristik Generator Tanpa Beban .....	24
Gambar 2.19 Karakteristik Generator Berbeban.....	24
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian .....	27
Gambar 4.1 <i>Name Plat Turbine</i> .....	31
Gambar 4.2 <i>Name Plate Generator</i> .....	32
Gambar 4.3 Diagram alir dan diagram T-S siklus Rankine .....	34

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi listrik merupakan kebutuhan primer pada perkembangan teknologi saat ini. Manusia sangat bergantung pada energi listrik, sehingga bisa dibayangkan bila tiba-tiba daya listrik terhenti, maka akan banyak terjadi kekacauan dari berbagai aspek.

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat sehingga kebutuhan akan tenaga listrik akan semakin meningkat. sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan serta segala bentuk industri, semakin banyak pula diperlukan tenaga kerja terampil yang mampu mengatasi berbagai masalah yang timbul, baik yang terlibat langsung di lapangan maupun sebagai perencana.

Generator merupakan mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan energi listrik. Generator akan mengubah energi mekanis dari turbin menjadi energi listrik. Generator dikatakan sinkron jika memiliki kecepatan putar rotor yang sama dengan kecepatan putar medan magnet pada stator. Pada dasarnya konstruksi generator sinkron sama dengan konstruksi motor sinkron sehingga bisa juga disebut sebagai mesin sinkron. Generator sinkron terdiri atas Rotor (bagian yang berputar), Stator (bagian yang diam), dan Celah udara yang berada di antara Rotor dan Stator.

Generator merupakan suatu peralatan utama dalam suatu sistem pembangkit energi listrik. Pada PT Permata Hijau Palm Oleo, generator mempunyai kapasitas 12 MW. Rotor generator diputar oleh turbin uap yang berfungsi sebagai prime mover. Energi mekanik pada rotor ini dikonversikan menjadi energi listrik yang nantinya digunakan untuk berbagai macam kebutuhan. Dalam penggunaannya, generator beroperasi secara terus-menerus sesuai dengan kebutuhan beban yang dilayani. Apabila dihubungkan dengan banyak beban listrik, maka itu akan memperberat kerja generator dan bisa mengakibatkan trip yang akan mengakibatkan proses pembangkitan listrik berhenti mendadak. Supaya proses tidak berhenti mendadak, operator akan mengurangi beban listrik. Perubahan beban yang terjadi pada generator

akan berdampak pada berubah-ubahnya efisiensi dari generator tersebut. Berdasarkan permasalahan diatas maka penulis tertarik untuk membahas “**Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Generator Kapasitas 12 MW Dengan Metode Trial And Error di PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan**” sebagai judul Skripsi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana prinsip kerja dari generator yang ada di PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan?
2. Bagaimana cara menentukan Efisiensi yang baik pada Generator berdasarkan perubahan beban yang terjadi?
3. Bagaimana hubungan perubahan beban dan efisiensi generator dengan metode Trial and Error pada PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan?

## **1.3 Tujuan**

1. Untuk mengetahui prinsip kerja dari generator sinkron yang ada di PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan.
2. Untuk mengetahui perhitungan efisiensi generator berdasarkan perubahan yang terjadi.
3. Untuk mengetahui hubungan Perubahan beban dan efisiensi generator dengan metode Trial And Error Pada PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan.

## **1.4 Batasan Masalah**

Untuk mempermudah dan mempersempit pembahasan, maka penulis menentukan ruang lingkup yang akan diteliti adalah:

1. Kapasitas generator yang di analisis adalah 12 MW.
2. Analisis dilakukan hanya pada generator sinkron 3 phasa.

## **1.5 Manfaat**

Adapun manfaat dari skripsi ini adalah:

1. Memberikan informasi efisiensi generator 12 MW pada PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan.
2. Memberikan manfaat untuk mahasiswa/I sebagai referensi tambahan, guna menambah pengetahuan terkait generator sinkron dan pengaruh perubahan beban-beban listrik terhadap efisiensi generator tersebut.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB 1 Pendahuluan**

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, manfaat, dan sistematika pembahasan.

### **BAB 2 Tinjauan Pustaka**

Membahas hal-hal berupa teori yang berhubungan dengan judul tugas akhir dan metode-metode perhitungan yang digunakan.

### **BAB 3 Metodologi Penelitian**

Bagian ini menerangkan tentang tempat dan waktu penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data dan metode analisis data.

### **BAB 4 Hasil Dan Pembahasan**

Merupakan hasil penelitian dan pembahasan singkat mengenai hasil penelitian yang digunakan untuk memecahkan masalah dan menarik kesimpulan.

### **BAB 5 Kesimpulan**

Dari pembahasan dan analisa data yang telah didapat, penulis dapat memberikan kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Penelitian yang berjudul “Analisa Perhitungan Efisiensi Daya Turbine Generator Siemens ST-300 7 MW di PTPN XI (Unit) PG. Semboro”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi generator dan rugi daya pada PTPN XI. Hasil yang didapat dari analisa dengan mengambil sampel selama 10 hari didapatkan efisiensi rata-rata generator 93,46%. Apabila dibandingkan dengan efisiensi generator secara desain sebesar 96.23%, maka nilai efisiensi Turbine Generator ST-300 7 MW saat ini mengalami penurunan sebesar 3% [1].

Penelitian yang berjudul “Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron”. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap karakteristik generator sinkron unit 1 dan 2 di PT Sumber Segara Primadaya. Hasil yang didapat dari data di lapangan diperoleh efisiensi generator unit 1 dan 2 berada pada rentang 97.12% sampai dengan 98.73%, angka ini cukup baik mengingat rugi yang dihasilkan maksimal hanya sebesar 2.88% [2].

Penelitian yang berjudul “Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator di PLTG Borang Dengan Menggunakan Software MATLAB”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai efisiensi generator dan rugi daya pada PLTG Borang. Hasil yang didapat berdasarkan perhitungan manual dan menggunakan software MATLAB berbasis GUI, efisiensi tertinggi pada PLTG Borang didapat saat beban puncak sebesar 99.88%. Sedangkan efisiensi terendah untuk hasil perhitungan manual didapat saat beban tertinggi sebesar 99.87%. Dan hasil perhitungan rugi daya dengan perhitungan manual lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan software MATLAB. Efisiensi dan rugi daya sangat dipengaruhi oleh daya dan arus beban terpakai. Semakin tinggi daya dan arus beban, maka akan semakin tinggi efisiensi generator dan semakin kecil rugi daya pada generator [3].

Penelitian yang berjudul “Analisa Efisiensi Generator Pada Unit 1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap 2 x 25 MW PT Rekind Daya Mamuju”. Penelitian ini dilakukan

untuk mencari nilai efisiensi generator lalu mencari pada saat kondisi pembebanan berapa efisiensi meningkat. Hasil yang didapat dari analisa dengan mengambil sampel selama 15 hari, Pada saat pembebanan 50% nilai rata-rata efisiensi sebesar 97.2696%, pembebanan 80% nilai rata – rata efisiensi sebesar 97.5236%, dan pembebanan 100% nilai rata-rata efisiensi sebesar 97.3463%. Mengacu pada manual book “ PLTU Mamuju 2x25 MW Coal-fired Steam Power Plant” diketahui nilai efisiensi generator secara desain sebesar  $\pm 98\%$ . Saat pembebanan dasar (50%) efisiensi menurun sebesar 0.7304%, pembebanan ekonomis (80%) efisiensi menurun sebesar 0.4764%, dan pembebanan puncak (100%) efisiensi menurun sebesar 0.6537%. Sehingga efisiensi optimum terjadi pada kondisi pembebanan 80% (ekonomis) nilai sebesar 97.5236%. [4]

Pada penelitian yang berjudul “Analisa Perhitungan Efisiensi Turbine Generator QFSN-300-2-20B Unit 10 dan 20 PT.PJB UBJOM PLTU Rembang”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi generator pada PT PJB UBJOM PLTU REMBANG. Hasil yang didapat dari analisa dengan mengambil sampel selama 10 hari didapatkan efisiensi rata-rata generator unit 10 saat ini sebesar 93.15%. efisiensi rata-rata generator pada unit 20 sebesar 92.39%. Apabila dibandingkan dengan efisiensi generator secara desain sebesar 98%, maka nilai efisiensi Turbine Generator QFSN-300-2-20B saat ini mengalami penurunan sebesar  $\pm 5\%$ .

Pada penelitian yang berjudul “Analisa Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 2 PLTP PT Indonesia Power UPJP Kamojang”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah generator masih dalam keadaan optimal atau kurang optimal dengan menganalisa efisiensi generator. Hasil yang didapat dari analisa dengan mengambil data selama 1 bulan, didapatkan efisiensi rata-rata generator unit 2 sebesar 92.89%. Apabila dibandingkan dengan efisiensi generator secara desain sebesar 98.4%, nilai efisiensi generator unit 2 Kamojang mengalami penurunan sebesar 5.51 % . Hal ini menunjukkan bahwa generator masih memiliki keandalan kinerja yang baik sebagai penghasil daya listrik.[5]

Pada penelitian yang berjudul “ Pengaruh Perubahan Variasi Eksitasi Tegangan Terhadap Daya Reaktif Pada Generator” Di dalam penelitian ini dilakukan pengujian pada generator dengan menggunakan beban induktif dan resistif. Hasil pengujian yang didapatkan pada generator yaitu pada saat generator diberikan beban induktif, generator

mengalami kenaikan tegangan sebesar 0,22% sehingga memiliki daya reaktif sebesar 914,12 VAR, dan pada saat pengujian dengan beban resistif menghasilkan daya reaktif sebesar 1254,36 VAR serta mengalami kenaikan tegangan sebesar 0,46%. [6]

Pada penelitian yang berjudul “Analisa Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik-Umsu”. Penelitian ini menyimpulkan bahwa tegangan generator sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus eksitasi yang diberikan. Semakin besar arus eksitasi yang diberikan maka tegangan keluaran generator akan semakin besar. [7]

Berdasarkan dari beberapa penelitian yang telah dilakukan bahwa efisiensi generator sangat penting untuk diketahui khusus bagi pihak PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan. Untuk itu peneliti tertarik untuk melakukan penelitian mengenai pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi generator.

## 2.2 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 boiler dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinu didalam 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 2.1 Boiler



Gambar 2.2 Name Plate Boiler

#### a. Komponen Boiler

##### 1) Ruang Bakar (*Furnace*)

*Furnace* atau yang biasa disebut tungkupembakaran adalah ruang tempat untuk membakar bahan bakar boiler. Panas hasil pembakaran digunakan untuk memanaskan air pada pipa yang menempel pada dinding ruang pembakaran. Suhu ruang bakar berkisar antara 500-560°.

##### 2) Drum Air dan Drum Uap

Drum air terletak pada bagian bawah yang berisi air dari tangki kondensat yang dipanaskan di dalam *deaerator*, juga sebagai tempat pengendapan kotoran- kotoran yang ada di dalam air yang kemudian dikeluarkan secara *blowdown*. Drum uap terletak pada bagian atas yang berisi uap yang kemudian disalurkan ke *steam header*.

##### 3) *Superheater*

*Superheater* adalah bagian dari *boiler* yang berfungsi untuk mengubah uap basah (*saturated steam*) dengan temperatur 150°C hingga menjadi uap kering (*superheated steam*) dengan temperatur 260°C.

##### 4) Pipa-pipa Air

Pipa-pipa air ini berfungsi sebagai tempat pemanasan air ketel. Pipa-pipa air ada yang menghubungkan drum atas dengan drum bawah, adayang

menghubungkan drum atas dengan *header* bagian depan dan ada yang menghubungkan drum bawah dengan *header* bagian belakang.

5) *Dust Collector*

Alat ini berfungsi sebagai pengumpul abu atau penangkap abu di sepanjang aliran gas pembakaran sampai ke gas buang.

6) *Soot Blower*

*Soot blower* adalah alat yang berfungsi sebagai pembersih jelaga atau abu yang menempel pada pipa- pipa.

7) *Deaerator*

Merupakan pemanas air sebelum dipompa ke dalam ketel sebagai air pengisi. Media pemanas adalah *exhaust steam* pada tekanan kurang lebih  $1 \text{ kg/cm}^2$  dengan suhu kurang lebih  $150^\circ\text{C}$ , sehingga didapatkan air pengisian ketel yang bersuhu antara  $100^\circ\text{C} - 105^\circ\text{C}$ . Fungsi utamanya adalah menghilangkan oksigen ( $\text{O}_2$ ) dan untuk menghindari terjadinya karat pada dinding ketel.

8) *High Pressure Water Pump*

Berfungsi untuk memenuhi kebutuhan air pengisian ketel yang dijadikan uap, sampai dengan kapasitas ketel yang maksimum sehingga ketel uap akan dapat berkerjasama aman. Kapasitas pompa harus lebih tinggi dari kapasitas ketel minimum 1,25 kali tekanan pompa juga harus lebih tinggi dari tekanan kerja ketel, agar dapat menyuplai air ke dalam ketel.

9) *Induced Draft Fan (IDF)*

Alat bantu ketel yang berfungsi sebagai penghisap gas sisa pembakaran bahan bakar yang keluar dari ketel.

10) *Forced Draft Fan (FDF)*

Merupakan alat bantu ketel yang berfungsi sebagai penghembus bahan bakar. FDF ini dijalankan apabila IDF sudah dijalankan terlebih dahulu. Udara yang dihembuskan oleh FDF dilewatkan melalui *air heater* terlebih dahulu supaya mendapatkan udara penghembus bersuhu tinggi antara  $250^\circ - 350^\circ\text{C}$ .

### 11) Ash Conveyor

Merupakan alat pembawa atau pengangkut abu dari sisa-sisa pembakaran bahan bakar, baik yang dari rangka bakar (*fire grate*) ataupun juga dari alat-alat pengumpul abu (*dust collector*), untuk dibuang dan diteruskan kekolam penampungan.

### 12) Cerobong Asap (*Chimney*)

Berfungsi untuk membuang udara sisa pembakaran. Diameter cerobong 1400 mm dan tinggi cerobong 100000 mm.

### 13) Alat Pengaman Boiler

Mengingat bahwa tekanan kerja dan temperatur ketel yang sangat tinggi, maka ketel harus dilengkapi dengan alat-alat pengaman seperti katup pengaman (*safety valve*), gelas penduga (*sight glass*), *blow down valve*, manometer, kran uap induk dan kran pemasukan air.

## 2.3 Turbin – Alternator

Turbin-Alternator adalah turbin uap yang dikopel dengan generator. PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan menggunakan satu turbin-alternator untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin yang dikopel dengan alternator melalui *gear box*. Alternator merupakan singkatan dari *Alternating Current Generator* atau yang biasa disebut dengan Generator AC.

Tinggi rendahnya tekanan uap yang dihasilkan oleh *boiler* akan sangat berpengaruh pada putaran turbin. Uap yang masuk ke turbin harus uap sangat kering (*superheat steam*), bila uap masih mengandung air atau uap basah (*saturated steam*) dapat mengakibatkan kerusakan pada *impeller* turbin dan melemahnya putaran turbin sehingga tegangan yang akan dihasilkan generator juga akan melemah. Oleh karena itu untuk mencegah hal tersebut terjadi maka digunakan tabung *separator* yang berfungsi untuk memisahkan uap dengan air sebelum masuk ke turbin uap. Uap yang sudah masuk ke turbin akan memutar sudu-sudu turbin sehingga dengan kecepatan 3000 rpm mampu menghasilkan energi listrik dari generator yang sudah dikopel dengan turbin. Sisa uap

yang sudah dipakai oleh turbin (uap kering) untuk menghasilkan energi listrik selanjutnya akan ditampung di bak penampungan dan uap kering diubah menjadi uap basah (*saturated steam*) di BPV (*Back Pressure Vessel*).



Gambar 2.3 Turbin – Alternator

Pada pembangkitan listrik di PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan, turbin memegang peran penting dalam pembangkitan energi listrik karena turbin yang memutar generator. Semakin besar putaran turbin maka putaran generator juga akan semakin besar. Kemampuan turbin untuk memutar generator disebut dengan daya turbin. Daya yang dihasilkan turbin untuk memutar generator disebut juga sebagai daya input ( $P_{in}$ ) generator. Daya keluaran turbin ( $P_{out}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan rumus perhitungan dibawah ini:

$$P_{out} = m_u (h_i - h_o)$$

Dimana,  $P_{out}$  = Daya Keluaran Turbin (kW)

$m_u$  = Laju Aliran Uap Masuk (kg/s)

$h_i$  = Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

$h_o$  = Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

#### 2.4 Back Pressure Vessel (BPV)

BPV atau *Back Pressure Vessel* adalah sebuah bejana penampungan uap keluaran turbin sebelum didistribusikan ke stasiun pengolahan. Uap keluaran turbin akan dialirkan

menuju BPV untuk diubah menjadi uap basah. Uap kering dari turbin akan masuk ke BPV yang telah diisi air, yang nantinya akan berubah menjadi uap basah lalu didistribusikan ke setiap stasiun pengolahan.



Gambar 2.4 Black Pressure Vessel (BPV)

## 2.5 Generator Sinkron

Konversi energi elektromagnetik yaitu perubahan energi dari bentuk mekanik ke bentuk listrik dan bentuk listrik ke bentuk mekanik. Generator sinkron (alternator) merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh penggerak mula, sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya[9].

Generator sinkron dengan definisi sinkronnya, mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkannya sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut. Rotor generator sinkron yang terdiri dari belitan medan dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet yang dapat diputar dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet yang diputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar rotor[10]

$$f = \frac{np}{120}$$

Dimana :

$f$  = frekuensi listrik (Hz)

$n$  = kecepatan putaran rotor (rpm)

$p$  = jumlah kutub belitan medan

Ketika generator sinkron terhubung ke suatu beban listrik, rotor generator harus mampu memenuhi kecepatan nominal yang diperlukan untuk menghasilkan frekuensi yang telah ditetapkan. Jika rotor gagal memenuhi kecepatan putaran nominal, maka generator tidak dapat menghasilkan torsi minimum agar tetap menghasilkan frekuensi listrik yang konstan.

Generator sinkron umumnya tiga fasa, telah menjadi hal teramat penting dalam merubah energi yang terkandung dalam minyak, batubara, uranium, dan air menjadi energi serbaguna yaitu listrik. Generator sinkron bekerja sendiri untuk melayani beban yang kecil atau bekerja dalam sistem interkoneksi sebagai pendukung dalam kondisi beban puncak.

Generator arus bolak-balik dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Generator arus bolak balik 1 fasa
2. Generator arus bolak balik 3 fasa

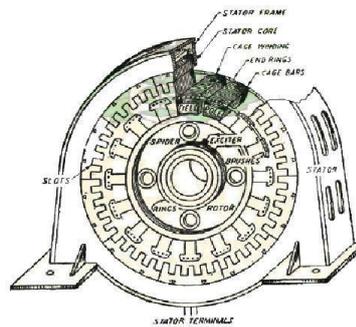
## **2.6 Konstruksi Generator Sinkron**

Generator Sinkron mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik bolak-balik secara elektromagnetik. Energi mekanik berasal dari penggerak mula yang memutar rotor, sedangkan energi listrik dihasilkan dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan- kumparan stator[9].

Generator sinkron memiliki belitan jangkar pada statornya, dimana tegangan induksi bolak-balik dibangkitkan. Belitan jangkar ini merupakan belitan tiga fasa. Pada belitan jangkar akan dihasilkan tegangan induksi yang tiap fasanya terpisah  $120^\circ$  listrik. Sedangkan belitan medan pada rotor menghasilkan fluksi medan yang dipengaruhi besarnya oleh arus medan pada sistem eksitasi.

Konstruksi belitan medan pada bagian yang berputar dari belitan jangkar pada bagian yang diam telah menyederhanakan masalah isolasi generator sinkron, karena tegangan yang dibangkitkan dalam belasan kilovolt, maka tegangan tinggi ini tidak perlu

dikeluarkan melalui cincin slip dan kotak geser. Pada Gambar 2.1 dapat dilihat bentuk sederhana dari sebuah generator sinkron.



Gambar 2.5 Konstruksi Generator Sinkron

Secara umum generator sinkron terdiri atas stator, rotor dan celah udara. Stator merupakan bagian dari generator sinkron yang diam sedangkan rotor adalah bagian yang berputar. Celah udara adalah ruang antara rotor dan stator.[10]

Arus searah pada rangkaian medan di rotor didapat dengan dua cara:

1. Suplai arus searah berasal dari sumber tegangan eksternal dengan menghubungkan kerangka medan rotor dengan menggunakan sikat cincin geser.
2. Suplai arus searah berasal dari sumber daya khusus yang terpasang langsung pada poros generaor.

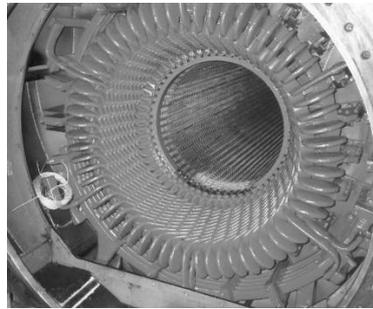
Penggunaan sikat biasanya pada generator sinkron yang sangat kecil, untuk yang berkapasitas besar digunakan penguat tanpa sikat. Sikat merupakan komponen untuk mengalirkan arus searah dari sumber tegangan DC eksternal menuju belitan medan rotor melalui slip ring.

Pemakaian cincin dan sikat memiliki kelemahan yaitu membutuhkan perawatan berkala dan menimbulkan rugi-rugi dan tegangan jatuh pada terminal sikat, terutama yang arus medannya besar. Pemakaian eksitasi eksternal biasanya pada mesin berkapasitas kecil.

Pada bagian ini akan dibahas mengenai konsturksi garis besar bagian-bagian generator yang dibahas pada bagian ini antra lain:

### 2.6.1 Stator

Stator adalah bagian yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui stator. Komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak[10]. Bentuk stator dari generator sinkron dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.6 Stator Generator Sinkron

Stator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

a) Rangka stator

Rangka stator merupakan rumah (kerangka) yang menyangga inti jangkar generator.

b) Inti stator

Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik khusus terpasang kerangka stator.

c) Alur(slot) dan gigi

Alur dan gigi merupakan tempat meletakkan kumparan stator. Ada 3 bentuk stator yaitu terbuka, setengah terbuka dan tertutup. Seperti pada Gambar 2.3 dibawah ini:



Gambar 2.7 Bentuk Alur

d) Kumparan stator

Kumparan stator jangkar biasanya terbuat dari tembaga. Kumparan ini

merupakan tempat timbulnya ggl induksi.

### 2.6.2 Rotor

Rotor terdiri dari tiga komponen utama yaitu [10]:

#### 1. Slip ring

Slip ring merupakan cincin logam yang melingkari poros tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipasang ke slip ring ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (brus) yang letaknya menempel pada slip ring.

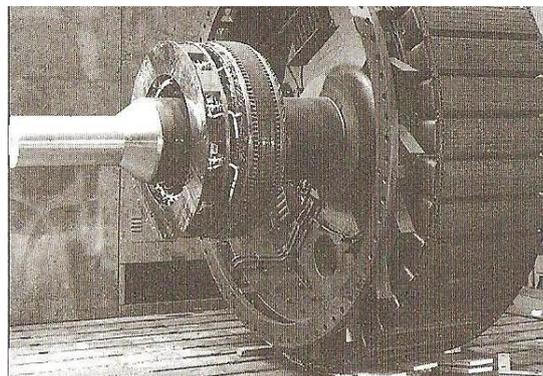
#### 2. Kumparan Rotor (Kumparan Medan)

Kumparan medan merupakan unsur yang memegang peran utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapatkan arus searah dari sumber eksitasi tertentu.

#### 3. Poros rotor

Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros rotor tersebut telah dibentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor.

Bentuk suatu rotor dari generator sinkron dapat dilihat pada Gambar 2.4 Berikut:

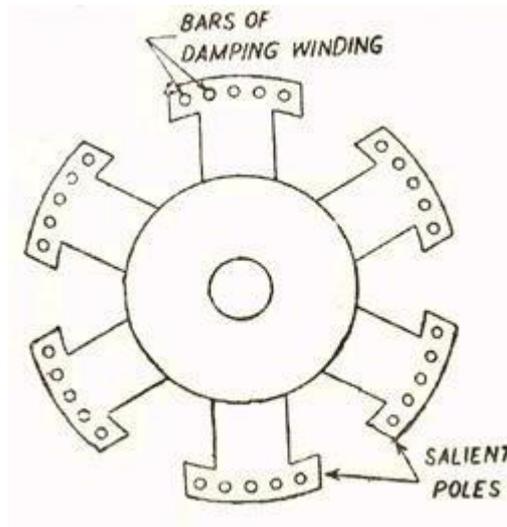


Gambar 2.8 Rotor Generator Sinkron

Rotor pada generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa silent pole (kutub menonjol) dan non silent pole (kutub silinder).

a) Rotor kutub menonjol (salient pole)

Pada jenis silent pole, kutub magnet keluar dari permukaan rotor. Belitan-belitan magnet medannya dihubungkan seri. Ketika belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub berlawanan. Pada Gambar 2.5 dapat dilihat bentuk kutub menonjol generator sinkron.



Gambar 2.9 Rotor Kutub Menonjol

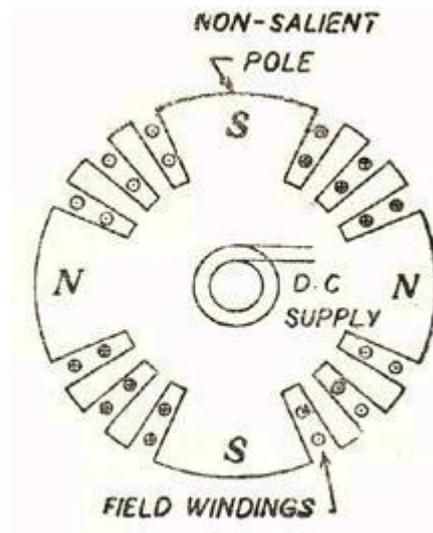
Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putar rendah dan sedang (120-400 rpm). Generator sinkron tipe seperti ini biasanya dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik. Rotor kutub menonjol baik digunakan untuk putaran rendah dan sedang karena:

1. Kutub menonjol akan mengalami rugi-rugi angin yang besar dan bersuara bising jika diputar dengan kecepatan tinggi.
2. Konstruksi kutub menonjol tidak cukup kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi

b) Rotor Kutub silindris (non salient pole)

Pada jenis rotor ini dibuat dari plat baja berbentuk silinder yang mempunyai sejumlah slot sebagai tempat kumparan. Karena adanya slot-slot dan juga kumparan medan yang terletak pada rotor maka jumlah kutub sedikit yang dapat dibuat. Belitan-belitan medan dipasang pada alur-alur disisi luarnya dan terhubung seri yang dienergized oleh eksiter.

Rotor ini biasanya berdiameter kecil dan sumbunya sangat panjang. Konstruksi ini memberikan keseimbangan mekanis lebih baik karena rugi-rugi anginnya lebih kecil dibandingkan dengan rotor kutub menonjol (silent pole rotor). Gambar bentuk rotor kutub silindris generator tampak seperti Pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.10 Rotor Kutub Silindris

Rotor silinder umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putar tinggi (1500 atau 3000 rpm) seperti yang terdapat pada pembangkit listrik.berkapasitas besar seperti pembangkit listrik tenaga uap. Rotor silinder baik digunakan pada kecepatan putar tinggi karena :

1. Konstruksinya memiliki kekuatan mekanik yang baik pada kecepatan putar tinggi.
2. Distribusi di sekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol.

## 2.7 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Adapun prinsip kerja dari generator sinkron secara umum adalah sebagai berikut:

1. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.

2. Penggerak mula (Prime Mover) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.
3. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung - ujung kumparan tersebut. Besarnya kuat medan pada rotor dapat diatur dengan cara mengatur arus medan ( $I_f$ ) yang diberikan pada rotor. Besarnya GGL induksi ( $E$ ) rata-rata yang dihasilkan kumparan jangkar ini dapat dilihat dalam persamaan berikut.[11]

$$E = 4,44xN. f. \emptyset$$

Jika  $f = \frac{np}{120}$ , maka

$$E = 4,44xN. \frac{np}{120} . \emptyset$$

$$E = \frac{4,44Npn\emptyset}{120}$$

Bila  $C = \frac{4,44Np}{120}$ , Maka

$$E = Cn\emptyset$$

dimana :

$E$  = ggl induksi (Volt)

$n$  = kecepatan putaran rotor (rpm)

$N$  = banyaknya lilitan

$f$  = frekuensi (Hz)

$p$  = jumlah kutub

$\emptyset$  = fluks magnetik (Weber)

$C$  = konstanta

Untuk generator sinkron tiga fasa, digunakan tiga kumparan jangkar yang ditempatkan di stator yang disusun dalam bentuk tertentu, sehingga susunan kumparan jangkar yang sedemikian akan membangkitkan tegangan induksi pada ketiga kumparan jangkar yang besarnya sama tapi berbeda fasa 120 satu sama lain.

## 2.8 Sistem Eksitasi

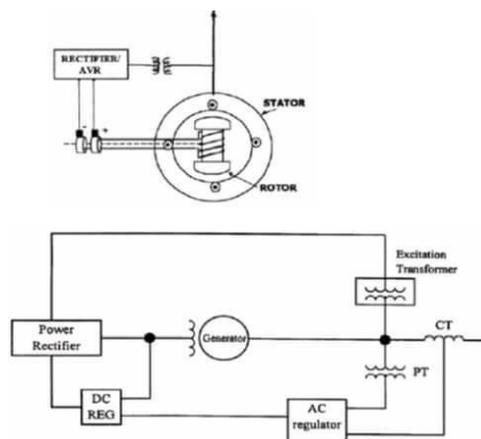
Sistem eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator sinkron atau sebagai pembangkit medan magnet, sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluarannya bergantung pada besar eksitasinya. Sistem eksitasi pada generator dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu sistem eksitasi dengan sikat (*brush excitation*) dan sistem eksitasi dengan tanpa sikat (*brushless excitation*).[12]

### 2.8.1 Sistem Eksitasi Dengan Sikat (*Brush Excitation*)

Pada sistem eksitasi ini, sumber tenaga listriknya berasal dari generator DC atau dari generator AC yang disearahkan terlebih dahulu dengan menggunakan *rectifier*. Sistem eksitasi dengan sikat terdiri dari 2 bagian yaitu sistem eksitasi statis dan sistem eksitasi dinamik.

#### a. Sistem Eksitasi Statis

Sistem eksitasi ini mendapatkan suplai eksitasi dari eksiter yang bukan mesin bergerak, melainkan disuplai dari output generator itu sendiri atau dari generator lain melalui transformer.

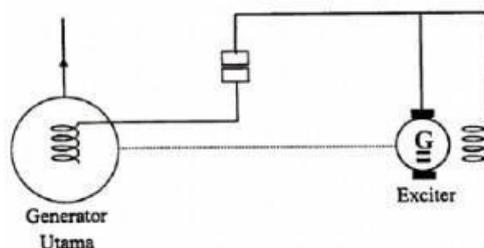


Gambar 2.11 Sistem Eksitasi Statis

#### b. Sistem Eksitasi Dinamik

Sistem eksitasi ini mendapatkan suplai eksitasi dari eksiter yang bergerak. Eksiternya dapat berupa generator DC atau bisa juga generator AC yang kemudian disearahkan menggunakan *rectifier*. PMG (*Permanent magnet generator*) menghasilkan arus eksitasi AC yang disearahkan menggunakan *rectifier* pada stator AC eksiter. Kemudian arus keluaran generator AC eksiter disearahkan menggunakan *rotating rectifier*. Arus searah yang dihasilkan

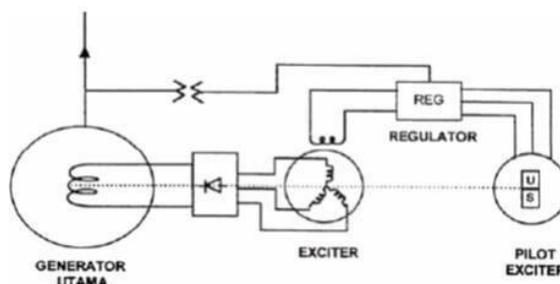
digunakan untuk memberikan arus eksitasi pada generator utama. Jika tegangan sudah mencapai nilai yang diinginkan, untuk menjaga tegangan agar berada pada nilai nominalnya menggunakan AVR (Automatic Voltage Regulator) yang digunakan untuk memerintahkan PMG menaikkan atau menurunkan arus eksitasinya.



Gambar 2.12 Sistem Eksitasi Dinamik

### 2.8.2 Sistem Eksitasi Tanpa Sikat ( *Brushless Excitation* )

Pada sistem ini untuk menyalurkan arus eksitasi ke generator utama, tidak melalui sikat.



Gambar 2.13 Sistem Eksitasi Tanpa Sikat

Pada gambar diatas dapat kita lihat bahwa untuk eksitasi generator disuplai dari generator AC eksiter dengan melalui penyearah (*rectifier wheel*) yang terpasang pada poros, sehingga arus eksitasi langsung terhubung dengan rotor generator. Kemudian untuk eksitasi eksiter disuplai dari *Pilot Exciter* dengan kemagnitan tetap atau biasa disebut PMG (*permanent magnet generator*). Output dari pilot eksiter tersebut adalah arus bolak balik 3 fasa, kemudian dengan melalui penyearah pada regulator arus eksitasi eksiter diatur besar kecilnya, sehingga dengan mengatur sistem eksitasi eksiter, maka tegangan output generator utama akan mengalami perubahan secara langsung.

## 2.9 Beban-Beban Listrik

Berdasarkan sifat suatu beban listrik dapat dibedakan menjadi 3 yaitu:

### 2.9.1 Resistif

Beban yang memiliki sifat resistif akan memiliki sifat yang sama dengan resistor (R). Apabila beban tersebut dialiri arus listrik maka arus listrik yang mengalir melalui beban tersebut adalah arus nominal pada beban dan memiliki nilai yang tetap sehingga tidak diaktifkan. Contoh beban-beban listrik yang bersifat resistif adalah lampu pijar, setrika, teko listrik, dan alat-alat yang bersifat pemanas lainnya.

### 2.9.2 Induktif

Beban yang bersifat induktif memiliki sifat yang sama dengan induktor (L). Arus listrik yang mengalir melalui beban tersebut akan disimpan dalam bentuk medan magnet karena arus listrik yang mengalir akan terinduksi dan diubah menjadi medan magnet sehingga dapat tersimpan. Misalnya motor listrik ketika digerakkan dengan cara dialiri arus listrik maka nilai arus *start*-nya akan 3 kali lebih besar dari arus nominal, dan ketika motor listrik telah *running* maka nilai arus listrik akan sama dengan nilai arus nominal. Contoh beban listrik yang bersifat induktif adalah pompa air, motor listrik, blender, kipas angin dan alat-alat yang memanfaatkan energi listrik untuk menghasilkan energi gerak sebagai penggerak beban utama.

### 2.9.3 Kapasitif

Beban yang bersifat kapasitif memiliki sifat yang sama dengan kapasitor (C). Hampir sama dengan induktor yang menyimpan energi listrik hanya saja beban yang bersifat kapasitif menyimpan energi listrik murni. Pada industri-industri besar yang menggunakan penggerak berupa motor listrik memerlukan kapasitor untuk menghemat daya

## 2.10 Reaksi Jangkar

Apabila generator sinkron (alternator) melayani beban, maka pada kumparan jangkar stator mengalir arus dan arus ini akan menimbulkan fluksi jangkar. Fluks jangkar yang ditimbulkan arus ( $\phi_A$ ) akan berinteraksi dengan yang dihasilkan kumparan medan

rotor ( $\phi_F$ ) sehingga menghasilkan fluks resultante ( $\phi_R$ ). Adanya interaksi ini dikenal sebagai reaksi jangkar.

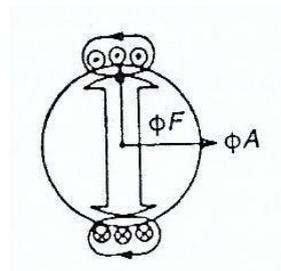
$$\phi_R = \phi_F + \phi_A ; \text{Jumlah secara vektor}$$

Kondisi reaksi jangkar untuk berbagai macam jenis beban adalah sebagai berikut:

### 2.10.1 Beban Resistif

Arus jangkar ( $I$ ) sefasa dengan ggl ( $E$ )

$\phi_A$  tegak lurus dengan  $\phi_F$

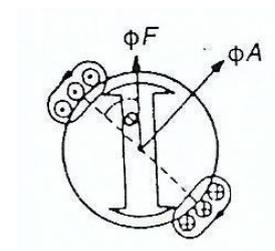


Gambar 2.14 Reaksi Jangkar Beban Resistif

### 2.10.2 Beban Kapasitif

Arus jangkar ( $I$ ) terdahulu  $\theta$  dari ggl ( $E$ )

$\phi_A$  terbelakang dengan sudut  $(90^\circ - \theta)$

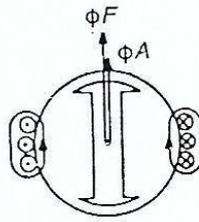


Gambar 2.15 Reaksi Jangkar Beban Kapasitif

### 2.10.3 Beban Kapasitif Murni

Arus jangkar ( $I$ ) terdahulu  $90^\circ$  dari ggl ( $E$ )

$\phi_A$  memperkuat  $\phi_F$ , terjadi pengaruh pemagnetan

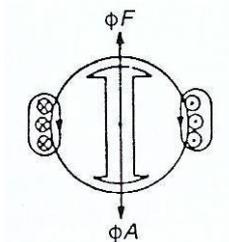


Gambar 2.16 Reaksi Jangkar Beban Kapasitif Murni

#### 2.10.4 Beban Induktif Murni

Arus jangkar ( $I$ ) terbelakang  $90^\circ$  dari ggl ( $E$ )

$\phi_A$  memperlemah  $\phi_F$ , terjadi pengaruh pendemagnetan



Gambar 2.17 Reaksi Jangkar Beban Induktif Murni

Terlihat bahwa reaksi jangkar pada alternator bergantung pada jenis beban yang dilayani. Dengan kata lain bergantung pada sudut fasa antara arus jangkar ( $I$ ) dengan tegangan induksi (ggl).

### 2.11 Karakteristik Beban Generator

#### 2.11.1 Generator Tanpa Beban

Dengan memutar generator pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan ( $I_f$ ); tegangan ( $E_o$ ) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator.

$$E_o = c.n.\phi$$

Keterangan :

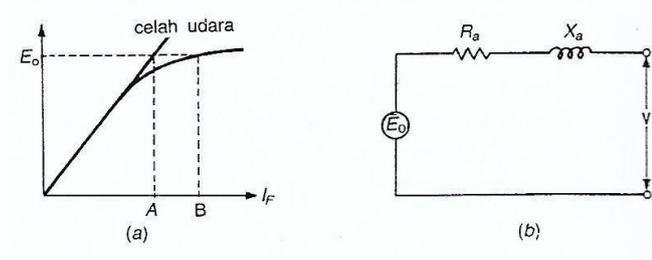
$c$  = konstanta

$n$  = putaran sinkron

$\phi$  = fluks yang dihasilkan oleh  $I_f$

dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karena tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan ( $I_f$ ).

Apabila arus medan ( $I_f$ ) diubah-ubah harganya, akan diperoleh harga  $E_o$  seperti yang terlihat pada kurva pemagnetan. Pada celah udara kurva pemagnetan merupakan garis lurus[12].



Gambar 2.18 Karakteristik Generator Tanpa Beban

AB = tahanan arus medan yang diperlukan untuk daerah jenuh

Ra = tahanan stator

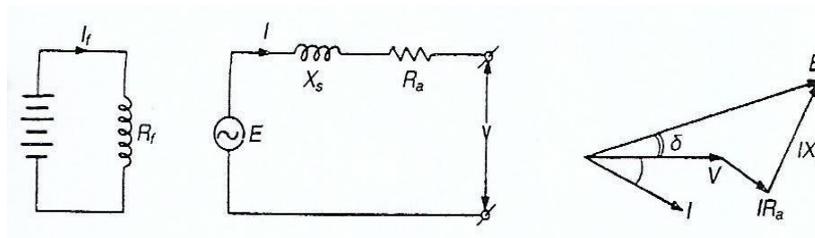
Xa = fluks bocor

Eo = V (keadaan tanpa beban)

### 2.11.2 Generator Berbeban

Dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar bersifat reaktif karena itu dinyatakan sebagai reaktansi dan disebut reaktansi pemagnet ( $X_m$ ). Reaktansi pemagnet ( $X_m$ ) ini bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor ( $X_a$ ) dikenal sebagai reaktansi sinkron ( $X_s$ ).

$$E = V + IR_a + jIX_s ; X_s = X_m + X_a$$



Gambar 2.19 Karakteristik Generator Berbeban

### 2.12 Efisiensi Generator

Efisiensi generator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Seperti halnya dengan mesin- mesin listrik lainnya, maupun transformator, maka efisiensi generator sinkron dapat dituliskan seperti Persamaan :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

Dimana :

Pin = Pout + Σ PRugi

Pout = daya keluaran

$P_{in}$  = daya masukan

$$\Sigma P_{Rugi} = I^2 \cdot R$$

### **2.13 Efek Perubahan Beban Terhadap Generator**

Bertambahnya beban yang dilayani generator identik dengan bertambahnya daya nyata atau daya reaktif yang mengalir dari generator. Maka penambahan beban akan menambah arus saluran yang mengalir dari generator, penambahan arus saluran ini akan mempengaruhi nilai tegangan terminal  $V_t$ .

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Tempat penelitian dalam skripsi ini yaitu di Perusahaan PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan yang beralamatkan di Jln. Pelabuhan Gabion Belawan, Kelurahan Bagan Deli, Kecamatan Medan belawan, Medan, Sumatera Utara. Penelitian dilakukan setelah seminar proposal yang telah disetujui.

#### **3.2 Bahan dan Peralatan**

Bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah data generator, data beban yang dilayani generator, Peralatan yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini adalah generator sinkron, alat ukur dan peralatan lain yang dibutuhkan.

#### **3.3 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 ditinjau dan wawancara langsung kepada sumber-sumber yang dianggap valid. Data juga terbagi 2, yaitu :

##### **3.3.1 Data Primer**

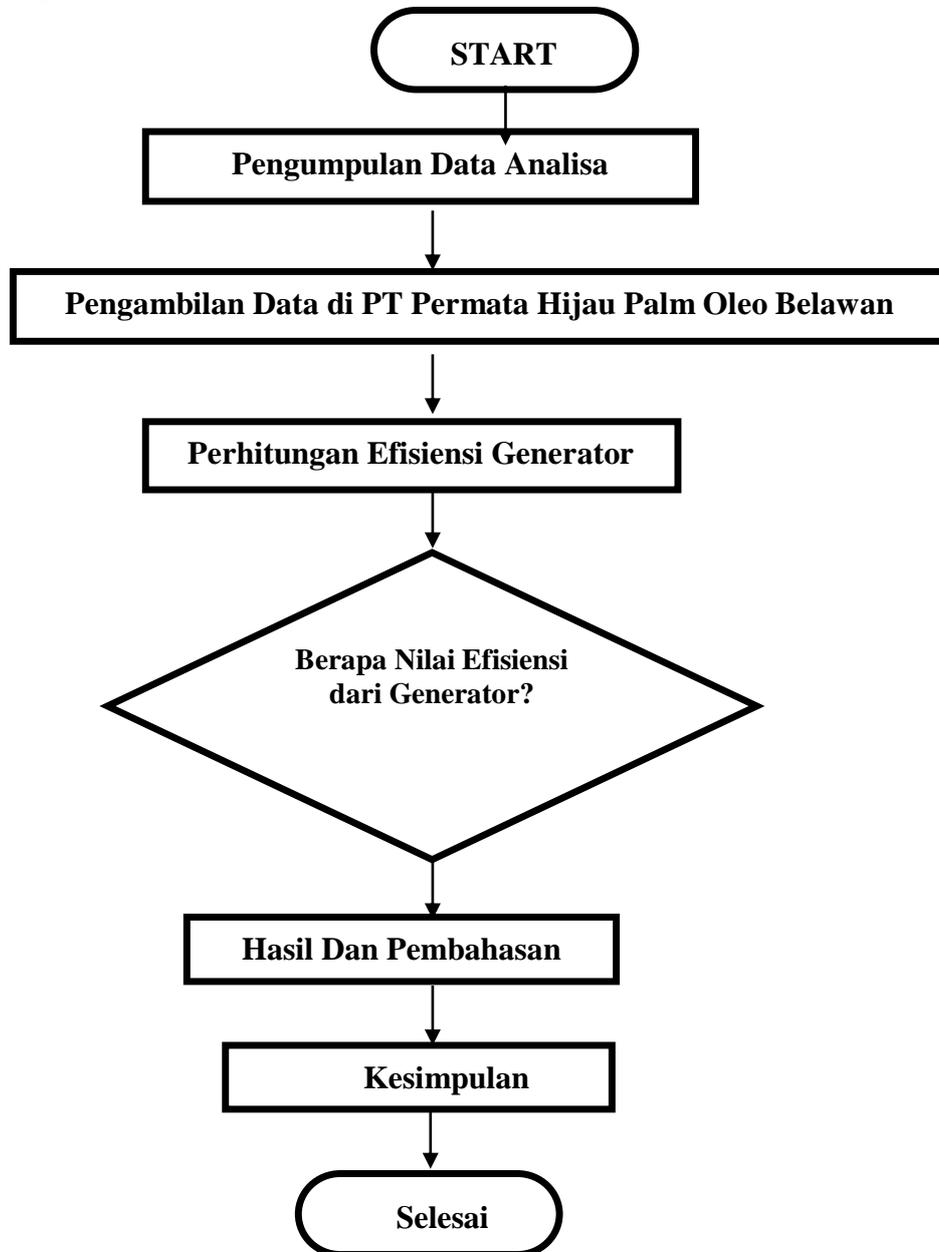
Data primer adalah sumber data penelitian yang diperoleh secara langsung dari sumber aslinya yang berupa wawancara, rekam jejak dari individu atau kelompok (orang) maupun hasil observasi dari suatu obyek, kejadian atau pengujian (benda). Adapun data tersebut dari perusahaan PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan. Adapun data yang akan diambil yakni sebagai berikut:

1. Data Turbin, meliputi Pressure, Temperatur dan juga laju alir uap.
2. Data Generator, meliputi putaran generator, beban generator, Arus, dan juga tegangan.

### 3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah sumber data penelitian yang diperoleh melalui media perantara atau secara tidak langsung yang berupa buku, jurnal, catatan, bukti yang telah ada, atau arsip baik yang dipublikasikan maupun yang tidak dipublikasikan secara umum.

### 3.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

### **3.5 Prosedur Penelitian**

#### **3.5.1 Mulai**

Awal dilakukannya pengumpulan data skripsi.

#### **3.5.2 Metode Pengumpulan Data**

Metode pengumpulan data ini dilakukan dengan melalui cara-cara sebagai berikut:

1. Metode literatur, yaitu suatu metode yang digunakan untuk mengumpulkan data dengan cara mengumpulkan, mengidentifikasi, mengolah data tertulis dan metode kerja yang dilakukan dengan mendapatkan dari buku, jurnal dan makalah serta pembelajaran online yang berhubungan dengan penelitian.
2. Metode Observasi, yaitu suatu metode untuk mengetahui kondisi lokasi penelitian.
3. Metode Wawancara, yaitu metode untuk mendapatkan data dengan cara wawancara langsung dengan instansi terkait atau pengelola atau narasumber yang dianggap mengetahui permasalahan tersebut.
4. Metode Trial And Error, yaitu metode yang menggunakan pengamatan yang lebih spesifik guna mendapatkan hasil yang diinginkan.

#### **3.5.3 Pengambilan Data Analisa**

Mengambil data di perusahaan PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan, berdasarkan cara-cara untuk mendapatkan data, maka data-data yang saya perlukan ada dua yaitu data primer dan data sekunder, yang termasuk ke dalam data primer yaitu :

1. Data Turbin, meliputi Pressure, Temperatur dan juga laju alir uap.
2. Data Generator, meliputi putaran generator, beban generator, Arus, dan juga tegangan.

Data sekunder yang saya perlukan yaitu :

1. Lokasi penelitian
2. Rumus efisiensi generator

#### **3.5.4 Analisa data**

1. Perhitungan Daya Keluar Turbin

Untuk menghitung nilai daya keluaran turbin (output) dapat dihitung menggunakan beberapa rumus berikut :

- a) Mencari nilai kualitas uap ( $x$ )

Untuk mencari nilai dari kualitas uap dapat menggunakan persamaan :

$$x = \frac{S_4 - S_{f4}}{S_g - S_f}$$

Dimana :

$S_1$  = nilai entropi berdasarkan tekanan uap masuk turbin

$S_f$  = nilai entropi *saturated liquid* berdasarkan tekanan uap keluar turbin

$S_g$  = nilai entropi *Saturated vapor* berdasarkan tekanan uap keluar turbin

- b) Mencari nilai entalpi keluaran turbin dalam kondisi isentropis ( $h_2s$ )

Untuk mencari nilai entalpi keluaran turbin dalam kondisi isentropis dapat menggunakan persamaan berikut :

$$h_2s = h_f + x(h_g - h_f)$$

Dimana :

$h_f$  = nilai entalpi *saturated liquid* berdasarkan tekanan uap

$X$  = nilai kualitas uap

$h_g$  = nilai entalpi *saturated vapor* berdasarkan tekanan uap keluar turbin

- c) Mencari nilai daya isentropis ( $W$  isentropis)

Untuk menghitung nilai daya isentropis dapat menggunakan persamaan :

$$W_{isentropis} = \dot{m} (h_1 + h_2s)$$

Dimana :

$m$  = laju aliran uap

$h_1$  = entalpi berdasarkan uap masuk turbin

$h_2S$  = entlpi keluar turbin dalam kondisi isentropis

- d) Perhitungan Efisiensi Generator

Besarnya nilai efisiensi generator dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{(P \text{ out})}{(P \text{ in})} \times 100\%$$

Dimana :

$\eta$  = efisiensi generator

P out = daya keluaran generator (MW)

P in = daya masukan generator (MW)

### **3.5.5 Hasil dan Pembahasan**

Setelah dilakukan analisa data terhadap efisiensi generator kapasitas 12 MW di PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan, maka akan diketahui apakah generator tersebut masih bekerja secara optimal atau sudah mengalami penurunan.

### **3.5.6 Kesimpulan Dan Saran**

Kesimpulan dari hasil analisa data sesuai tujuan dari skripsi ini serta memberikan saran atau masukan dari kesimpulan yang diperoleh.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data spesifikasi Turbin

PT. Permata Hijau Palm Oleo Belawan saat ini menggunakan satu turbin yang dikopel dengan alternator untuk membangkitkan tenaga listrik. Tenaga listrik yang dihasilkan digunakan untuk proses pengolahan minyak kelapa sawit pada pabrik tersebut. Berikut ini adalah data spesifikasi dari turbin uap dan alternator pada PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan.

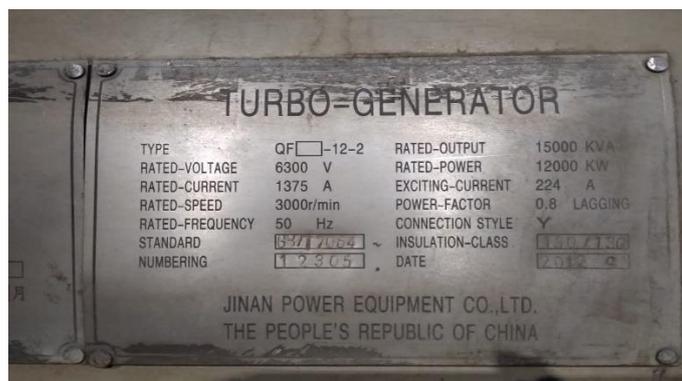


Gambar 4.1 Name Plat Turbine

Jenis turbin yang digunakan adalah turbin Extraction Condensing

Power	: 12 MW
Inlet temperature	: 435 °C
Inlet pressure	: 6.80 Mpa
Rated speed	: 3000 r/min
Extraction flow	: 30 t/h
Extraction press	: 0.49 Mpa

## 4.2 Data Spesifikasi Alternator (Generator Sinkron)



Gambar 4.2 Name Plate Generator

Model/ Gear Serial No	: TURBO GENERATOR QF-12-2
Jumlah Fasa/ Jumlah Kutub	: 3/4
Putaran/ frekuensi	: 3000 RPM / 50 HZ
Kapasitas daya Keluaran/ Daya Aktif	: 15000 KVA / 12000 KW
Rating tegangan/ Rating Arus	: 6300 V / 1375 A
Daya	: 0.8 Lagging
Eksitasi	: 224 A
Sistem penguatan	: Sendiri
Tahanan Belitan Stator/ Rotor	:
Buatan	: CHINA

## 4.3 Analisa Data Operasional Harian

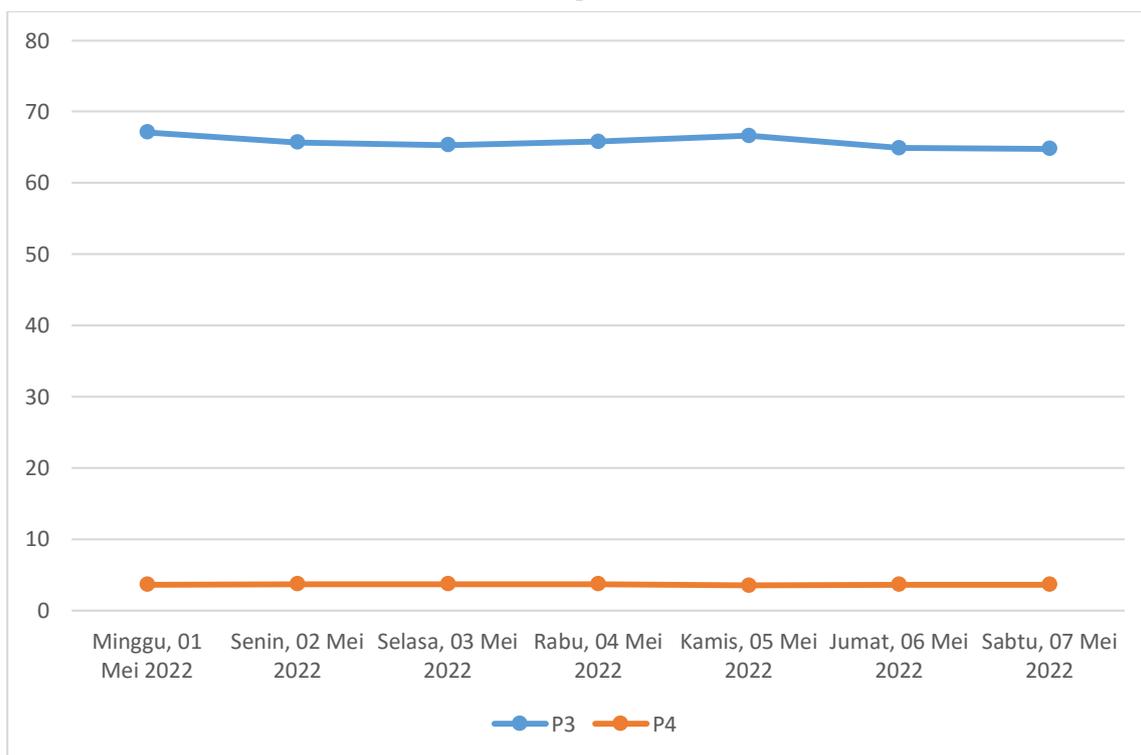
### 4.3.1 Data Tekanan Masuk dan Keluar Turbin

Berikut ini merupakan tabel tekanan masuk turbin dan tekanan keluaran turbin pada PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan mulai tanggal 03 mei 2022 sampai 07 mei 2022. Data yang diambil merupakan data tekanan masuk dan tekanan keluar turbin pada masing-masing hari kerja.

Tabel 4.1 Data Tekanan Uap masuk dan keluar Turbin

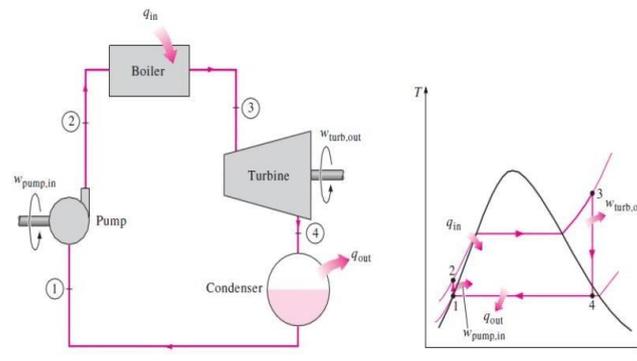
No	Hari/Tanggal	Tekanan uap Masauk Turbin (Bar)	Tekanan uap Keluar Turbin (Bar)
1	Minggu, 01 Mei 2022	67,1	3,6
2	Senin, 02 Mei 2022	65,7	3,7
3	Selasa, 03 Mei 2022	65,3	3,7
4	Rabu, 04 Mei 2022	65,8	3,7
5	Kamis, 05 Mei 2022	66,6	3,5
6	Jumat, 06 Mei 2022	64,9	3,6
7	Sabtu, 07 Mei 2022	64,8	3,6

Grafik 4.1 Data Tekanan Uap Masuk dan Keluar Turbin



### 4.3.2 Perhitungan Daya Masuk ( $P_{in}$ ) dan Daya Keluaran ( $P_{out}$ ) Generator

Daya masukan yang didapat oleh generator berasal daya yang dihasilkan turbin uap. Turbin uap menghasilkan daya mekanis untuk memutar generator. Pada perhitungan ini data yang diambil adalah data pada tanggal 03 mei 2022.



Gambar 4.3 Diagram alir dan diagram T-S siklus Rankine

Untuk menghitung daya masukan ( $P_{in}$ ) generator, dibutuhkan data-data seperti dibawah ini.

Tekanan uap masuk turbin ( $P_3$ ) : 65,3 Bar

Temperatur uap masuk turbin ( $T_3$ ) : 431,8

Tekanan uap keluar turbin ( $P_4$ ) : 3,7 Bar

Karena yang akan dianalisa adalah daya masukan generator, maka perhitungan dimulai dari titik 3 yaitu turbin uap. Daya masukan generator sama dengan daya keluaran turbin uap. Uap yang masuk ke turbin adalah uap superpanas.

#### Titik 3:

Dari tekanan uap masuk turbin ( $P_3$ ) dapat dihitung entalpi uap ( $h_3$ ) menggunakan tabel uap superpanas (lihat lampiran).

$$P_3 = 65,3 \text{ Bar}$$

$$T_3 = 431,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Interpolasi:

Karena pada tabel uap superpanas (lihat lampiran) tidak terdapat temperatur 431,8  $^\circ\text{C}$ , maka dilakukan interpolasi pada suhu 400  $^\circ\text{C}$  dan 450  $^\circ\text{C}$ .

**Pada suhu 400 °C**

$$h_3 = \frac{P_{65} - P_{60}}{P_{70} - P_{60}} \times (h_{70} - h_{60}) + h_{60}$$

$$h_3 = \frac{65 - 60}{70 - 60} \times (3.158 - 3.177) + 3.177$$

$$h_3 = 0,5 (-19) + 3.177$$

$$h_3 = 3.167,5 \text{ kJ/kg}$$

**Pada suhu 450 °C**

$$h_3 = \frac{P_{65} - P_{60}}{P_{70} - P_{60}} \times (h_{70} - h_{60}) + h_{60}$$

$$h_3 = \frac{65 - 60}{70 - 60} \times (3.287 - 3.301) + 3.301$$

$$h_3 = 0,5 (-14) + 3.177$$

$$h_3 = 3.294 \text{ kJ/kg}$$

**Pada suhu 432 °C**

$$h_3 = \frac{T_{432} - T_{400}}{T_{450} - T_{400}} \times (h_{450} - h_{400}) + h_{400}$$

$$h_3 = \frac{432 - 400}{450 - 400} \times (3.294 - 3.167,5) + 3.167,5$$

$$h_3 = 0,64 (126,5) + 3.167,5$$

$$h_3 = 3.248,46 \text{ kJ/kg}$$

**Pada suhu 400 °C**

$$s_3 = \frac{P_{65} - P_{60}}{P_{70} - P_{60}} \times (s_{70} - s_{60}) + s_{60}$$

$$s_3 = \frac{65 - 60}{70 - 60} \times (6,448 - 6,541) + 6,541$$

$$s_3 = 0,5 (-0,093) + 6,541$$

$$s_3 = 6,4945 \text{ kJ/kg}$$

**Pada suhu 450 °C**

$$s_3 = \frac{P_{65} - P_{60}}{P_{70} - P_{60}} \times (s_{70} - s_{60}) + s_{60}$$

$$s_3 = \frac{65 - 60}{70 - 60} \times (6,632 - 6,719) + 6,719$$

$$s_3 = 0,5 (-0,087) + 6,719$$

$$s_3 = 6,6755 \text{ kJ/kg}$$

**Pada suhu 432 °C**

$$s_3 = \frac{T_{432} - T_{400}}{T_{450} - T_{400}} \times (s_{450} - s_{400}) + s_{400}$$

$$s_3 = \frac{432 - 400}{450 - 400} \times (6,6755 - 6,4945) + 6,4945$$

$$s_3 = 0,64 (0,181) + 6,4945$$

$$s_3 = 6,610 \text{ kJ/kg}$$

Maka entalpi turbin ( $h_3$ ) pada suhu 431,8 °C adalah 3.248,46 kJ/kg. Dengan pola perhitungan interpolasi yang sama, nilai entropi pada Titik 3 ( $s_3$ ) didapat sebesar 6,610 kJ/kg

Untuk mencari entalpi keluar turbin ( $h_4$ ), maka terlebih dahulu diketahui fasa uap dari keluaran turbin tersebut dengan cara menghitung kualitas uapnya.

$$P_4 = 1 \text{ Bar}$$

Pada titik ini terjadi proses isentropis atau entropi konstan, maka  $S_3 = S_4 = 6,6109$  kJ/kgK

Kualitas uap keluaran turbin dapat dihitung dengan tabel cair-uap air saturasi (lihat lampiran):

$$\chi = \frac{S_4 - S_{f4}}{S_g - S_f}$$

$$\chi = \frac{6,610 - 1,727}{6.941 - 1.727}$$

$$\chi = \frac{4,883}{5,214}$$

$$\chi = 0,9366$$

Entalpi keluaran turbin dapat dihitung dengan metode dibawah ini:

$$h_{2s} = h_f + x(h_g - h_f)$$

$$= 584 + 0,9366 (2.732 - 584)$$

$$= 584 + 0,9366 (2.148)$$

$$= 2.595,81 \text{ kJ/kg}$$

Dimana :

$h_f$  = nilai entalpi *saturated liquid* berdasarkan tekanan uap

$X$  = nilai kualitas uap

$h_g$  = nilai entalpi *saturated vapor* berdasarkan tekanan uap keluar turbin

Setelah entalpi masuk ( $h_3$ ) dan entalpi keluar turbin ( $h_4$ ) didapatkan, maka daya masukan generator dapat dihitung dengan metode dibawah ini,

$$W_{\text{isentropis}} = \dot{m} (h_1 + h_{2s})$$

$$= 11,83 \text{ kg/s} (3.248,6 + 2.595,81 \text{ kJ/kg})$$

$$= 7,720,84 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{(P \text{ out})}{(P \text{ in})} \times 100\%$$

$$= \frac{(7,397,03)}{(7,720,84 \text{ kW})} \times 100\%$$

$$= 95,80 \%$$

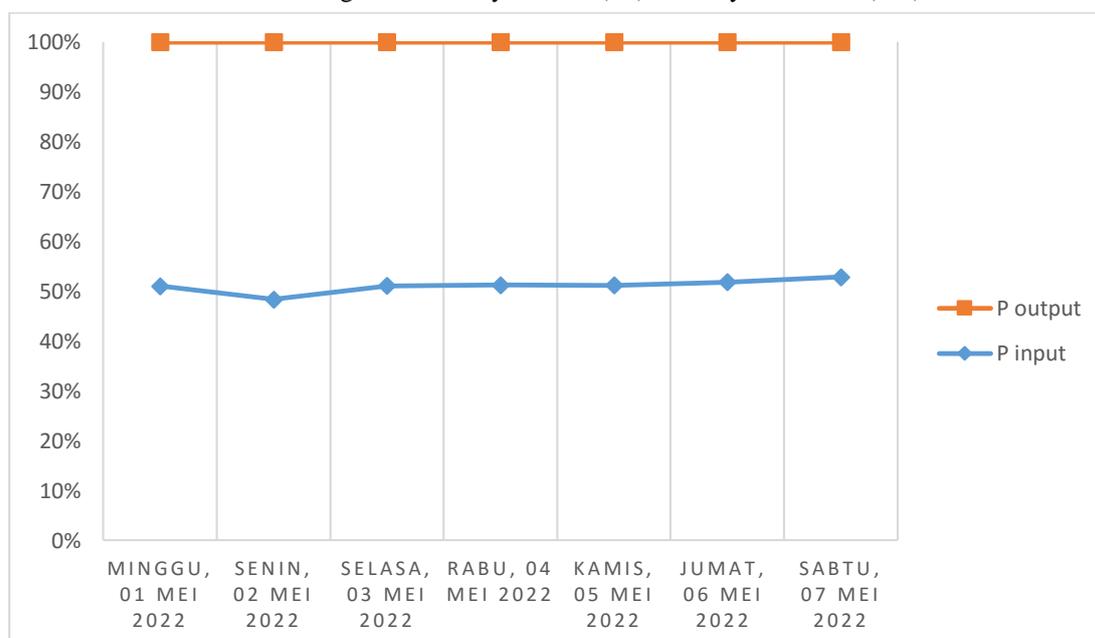
Daya yang dihasilkan generator sesuai yang terlampir didata pada hari selasa,03 mei 2022 adalah 177,53 Mw sehingga didapatkan daya yang dihasilkan per jam nya adalah 7.397,08 kw/h.

Dengan cara perhitungan yang sama, maka daya masukan ( $P_{in}$ ) dan daya keluaran ( $P_{out}$ ) generator untuk hari berikutnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan Analisa P input dan P output Generator

No	Hari/Tanggal	$P_3$ (Bar)	$P_4$ (Bar)	M(kg/s)	$P_{in}$ (kw)	$P_{out}$ (kw)
1.	Minggu, 01 Mei 2022	67,1	3,6	10,86	7.116,66	6,824,16
2.	Senin, 02 Mei 2022	65,7	3,7	11,78	7.732,98	8250
3.	Selasa, 03 Mei 2022	65,3	3,7	11,83	7,720,84	7.397,08
4.	Rabu, 04 Mei 2022	65,8	3,7	11,72	7.670,97	7.298,75
5.	Kamis, 05 Mei 2022	66,6	3,5	11,31	7.396,92	7.046,25
6.	Jumat, 06 Mei 2022	64,9	3,6	10,47	6.803,19	6.322,92
7.	Sabtu, 07 Mei 2022	64,8	3,6	11,02	7.307,03	6.513,33

Grafik 4.2 Perbandingan Antara daya masuk ( $P_{in}$ ) dan Daya Keluaran ( $P_{out}$ ) Generator



### 4.3.3 Perhitungan Efisiensi Generator ( $\eta_g$ )

Efisiensi generator merupakan perbandingan daya keluaran generator ( $P_{out}$ ) dengan daya masukan generator ( $P_{in}$ ). Pada perhitungan ini digunakan data pada tanggal 03 mei 2022.

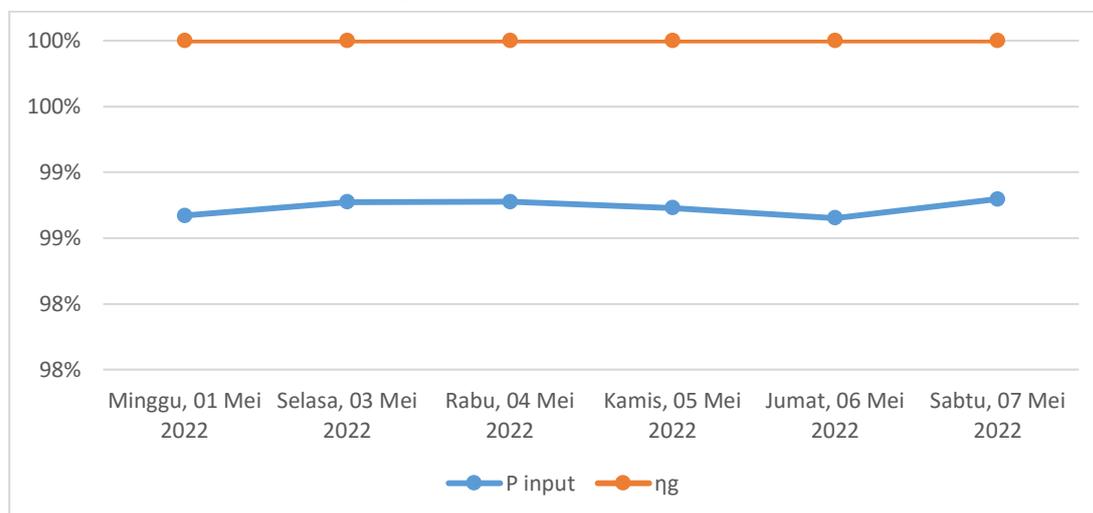
$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{daya keluar } (P_{out})}{\text{daya masukan } (P_{in})} \times 100\% \\ &= \frac{7,397,08}{7,720,84} \times 100\% \\ &= 95,80\%\end{aligned}$$

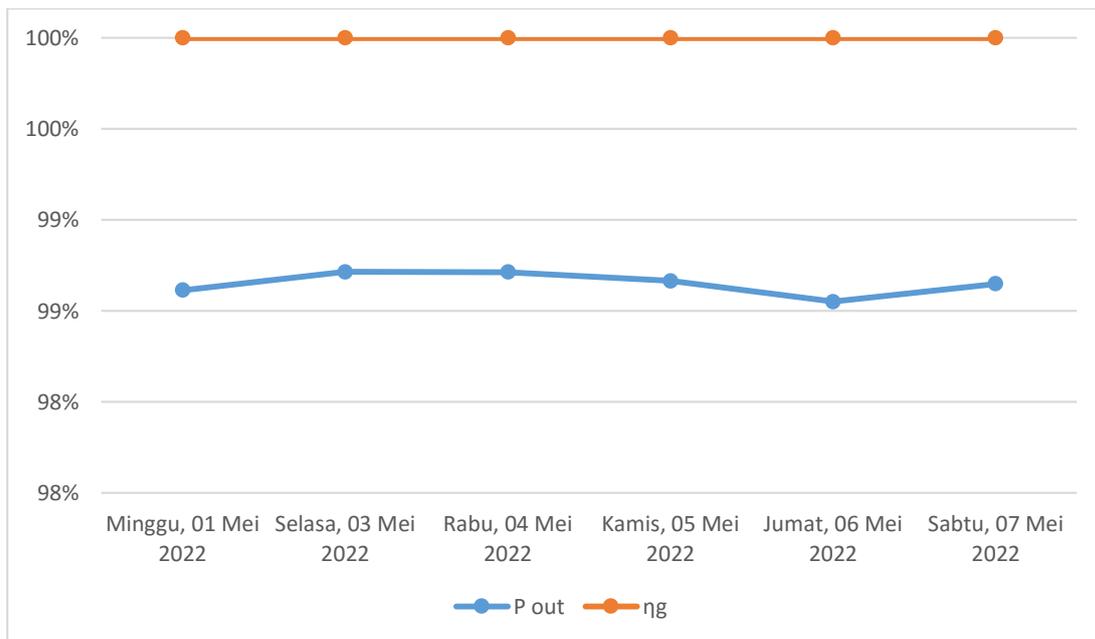
Dengan cara perhitungan yang sama, nilai efisiensi pada keadaanbeban lainnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Hasil Analisa Perhitungan Efisiensi Generator

No	Hari/Tanggal	$P_3$ (Bar)	$P_4$ (Bar)	$\dot{m}$ (kg/s)	$P_{in}$ (kw)	$P_{out}$ (kw)	$\eta_g$ (%)
1.	Minggu, 01 Mei 2022	67,1	3,6	10,86	7.116,66	6,824,16	95,89%
2.	Selasa, 03 mei 2022	65,3	3,7	11,83	7,720,84	7.397,08	95,80%
3.	Rabu, 04 mei 2022	65,8	3,7	11,72	7.670,97	7.298,75	95,14%
4.	Kamis, 05 mei 2022	66,6	3,5	11,31	7.396,92	7.046,25	95,26%
5.	Jumat, 06 mei 2022	64,9	3,6	10,47	6.803,19	6.322,92	92,94%
6.	Sabtu, 07 mei 2022	64,8	3,6	11,02	7.307,03	6.513,33	89,14%

Grafik 4.3 Hubungan antara daya masukan ( $P_{in}$ ) Efisiensi Generator



Grafik 4.4 Hubungan antara daya masukan ( $P_{out}$ ) Efisiensi Generator

#### 4.4 Analisa Data Trial And Erorr

Untuk mengetahui hubungan perubahan beban dan efisiensi generator dengan metode trial and erorr pada PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan peneliti melakukan perhitungan. Data ini diperoleh pada tanggal 02 Mei 2022.

Tabel 4.4 Data Trial And Erorr

No	Hari/Tanggal	$P_3$ (Bar)	$P_4$ (Bar)	$\dot{m}$ (kg/s)	$P_{in}$ (kw)	$P_{out}$ (kw)	$\eta_g$ (%)
1.	Senin, 02 Mei 2022	65,7	3,7	11,78	7.792,94	8250	105,86 %

Adapun Data yang Erorr yaitu,

Diketahui :

$$P_3 = 6,57 \text{ Mpa} = 65,7 \text{ Bar}$$

$$T_3 = 437,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_3 = 42,4 \text{ t/h} = 11,78 \text{ kg/s}$$

$$P_4 = 3,7 \text{ Bar}$$

Ditanya : Efisiensi ?

Jawab :

**Pada suhu 400 °C**

$$h_3 = \frac{P_{66} - P_{60}}{P_{70} - P_{60}} \times (h_{70} - h_{60}) + h_{60}$$

$$h_3 = \frac{66 - 60}{70 - 60} \times (3.158 - 3.177) + 3.177$$

$$h_3 = 0,6 (-19) + 3.177$$

$$h_3 = 3.165,6 \text{ kJ/kg}$$

**Pada suhu 450 °C**

$$h_3 = \frac{P_{66} - P_{60}}{P_{70} - P_{60}} \times (h_{70} - h_{60}) + h_{60}$$

$$h_3 = \frac{66 - 60}{70 - 60} \times (3.287 - 3.301) + 3.301$$

$$h_3 = 0,6 (-14) + 3.301$$

$$h_3 = 3.292,6 \text{ kJ/kg}$$

**Pada suhu 438 °C**

$$h_3 = \frac{T_{438} - T_{400}}{T_{450} - T_{400}} \times (h_{450} - h_{400}) + h_{400}$$

$$h_3 = \frac{438 - 400}{450 - 400} \times (3.292,6 - 3.165,6) + 3.165,6$$

$$h_3 = 0,76 (127) + 3.165,6$$

$$h_3 = 3.262,12 \text{ kJ/kg}$$

**Pada suhu 400 °C**

$$s_3 = \frac{P_{66} - P_{60}}{P_{70} - P_{60}} \times (s_{70} - s_{60}) + s_{60}$$

$$s_3 = \frac{66 - 60}{70 - 60} \times (6,448 - 6,541) + 6,541$$

$$s_3 = 0,6 (-0,093) + 6,541$$

$$s_3 = 6,485 \text{ kJ/kg}$$

**Pada suhu 450 °C**

$$s_3 = \frac{P_{66} - P_{60}}{P_{70} - P_{60}} \times (s_{70} - s_{60}) + s_{60}$$

$$s_3 = \frac{66 - 60}{70 - 60} \times (6,632 - 6,719) + 6,719$$

$$s_3 = 0,6 (-0,087) + 6,719$$

$$s_3 = 6,666 \text{ kJ/kg}$$

**Pada suhu 438 °C**

$$s_3 = \frac{T_{438} - T_{400}}{T_{450} - T_{400}} \times (s_{450} - s_{400}) + s_{400}$$

$$s_3 = \frac{438 - 400}{450 - 400} \times (6,666 - 6,485) + 6,485$$

$$s_3 = 0,76 (0,181) + 6,485$$

$$s_3 = 6,622 \text{ kJ/kg}$$

Untuk mencari entalpi keluar turbin ( $h_4$ ), maka terlebih dahulu diketahui fasa uap dari keluaran turbin tersebut dengan cara menghitung kualitas uapnya.

$P_4 = 1 \text{ Bar}$

Pada titik ini terjadi proses isentropis atau entropi konstan, maka  $S_3 = S_4 = 6,622 \text{ kJ/kgK}$

Kualitas uap keluaran turbin dapat dihitung dengan tabel cair-uap air saturasi (lihat lampiran):

$$\chi = \frac{S_4 - S_{f4}}{S_g - S_f}$$

$$\chi = \frac{6,622 - 1,727}{6,941 - 1,727}$$

$$\chi = \frac{4,895}{5,214}$$

$$\chi = 0,9388$$

Entalpi keluaran turbin dapat dihitung dengan metode dibawah ini:

$$\begin{aligned} h_{2s} &= h_f + x(h_g - h_f) \\ &= 584 + 0,9388 (2.732 - 584) \\ &= 584 + 0,9388 (2.148) \\ &= 2.600,58 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Dimana :

$h_f$  = nilai entalpi *saturated liquid* berdasarkan tekanan uap

$X$  = nilai kualitas uap

$h_g$  = nilai entalpi *saturated vapor* berdasarkan tekanan uap keluar turbin

Setelah entalpi masuk ( $h_3$ ) dan entalpi keluar turbin ( $h_4$ ) didapatkan, maka daya masukan generator dapat dihitung dengan metode dibawah ini,

$$\begin{aligned} W_{\text{isentropis}} &= \dot{m} (h_1 + h_{2s}) \\ &= 11,78 \text{ kg/s} (3.262,12 - 2.600,58 \text{ kJ/kg}) \\ &= 7,792,94 \text{ kW} \end{aligned}$$

Daya yang dihasilkan generator sesuai yang terlampir didata pada hari senin,02 mei 2022 adalah 198 Mw sehingga didapatkan daya yang dihasilkan per jam nya adalah 8250 kw/h

$$\eta = \frac{(P \text{ out})}{(P \text{ in})} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(8.250)}{(7.792,94 \text{ kW})} \times 100\% \\ &= 105,86 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa, dari tujuh hari yang diambil sebagai sampel analisa data pada hari minggu tanggal 01 Mei 2022 sampai 07 Mei 2022 ada salah satu data yang error, dimana efisiensinya didapatkan sebesar 105,86 % ini membuktikan bahwa :

1. Dalam proses pengambilan data dari equipment tidak valid.
2. Efek dari kurangnya kalibrasi pada alat ukur.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa dari 7 hari yang diambil sebagai sampel analisa data, terdapat salah satu data yang error sebesar 105,86 %, yang disebabkan oleh dalam proses pengambilan data dari equipment tidak valid, dan Efek kalibrasi pada alat ukur yang kurang maksimal.
2. Terdapat Hubungan perubahan beban dan efisiensi generator dengan metode Trial and Error pada PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan yaitu jika semakin besar daya keluarannya atau daya yang terpakai maka tingkat efisiensi generator akan semakin tinggi karena efisiensi generator sangat dipengaruhi oleh beban-beban yang terpakai yang sesuai dengan kemampuan dan kapasitas generator.

#### **5.2 Saran**

1. Untuk menjaga generator tetap dalam keadaan stabil , baiknya perubahan beban diatur supaya perubahannya tidak terlalu signifikan. Batas maksimum beban generator senantiasa juga perlu diperhatikan dalam rangka pemeliharaan generator.
2. Sebaiknya alat ukur yang rusak pada setiap panel diperbaiki dan dikalibrasi secara optimal agar mendapatkan data yang akurat.
3. Untuk mendapatkan nilai efisiensi turbin generator yang baik seharusnya pemeliharaan dan pengujian dilakukan secara berkala terhadap semua komponen dari turbin generator

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Priambodo, “ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI DAYA TURBINE GENERATOR SIEMENS ST-300 7 MW DI PTPN XI ( Unit ) PG . SEMBORO,” 2019, [Online]. Available: <http://repository.unmuhjember.ac.id/id/eprint/7265>.
- [2] A. Annisa, W. Winarso, and W. Dwiono, “Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron,” *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 37–53, 2019, doi: 10.30595/jrre.v1i1.4928.
- [3] M. Noer, “Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator Di Pltg Borang Dengan Menggunakan Software Matlab,” *J. Ampere*, vol. 2, no. 2, p. 103, 2017, doi: 10.31851/ampere.v2i2.1774.
- [4] T. Uap, M. W. Pt, R. Daya, F. Wildani, and S. Thaha, “Analisis Efisiensi Generator Pada Unit 1 Pembangkit Listrik,” no. September, pp. 63–67, 2021.
- [5] M. Muharrir and I. Hajar, “Analisis Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 2 PLTP PT. Indonesia Power UPJP Kamojang,” *Kilat*, vol. 8, no. 2, pp. 93–102, 2019, doi: 10.33322/kilat.v8i2.643.
- [6] M. Harahap, “Pengaruh Perubahan Variasi Eksitasi Tegangan Terhadap Daya Reaktif Pada Generator,” *Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 71–76, 2021.
- [7] R. Rimbawati, P. Harahap, and K. U. Putra, “Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik-Umsu),” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 37–44, 2019, doi: 10.30596/rele.v2i1.3647.
- [8] Willian D. Stevenson. JR, “Si\$tem,” *Anal. Sist. Tenga*, vol. 1, no. 1, p. 1, 1983.
- [9] S. J. Chapman, “Electric Machinery Fundamentals; 5E.”
- [10] Rosa dan Shalahuddin, “Politeknik Negeri Sriwijaya 4,” *Pembangkitan Energi List.*, vol. 7, no. 1, pp. 4–31, 2016.

## LAMPIRAN

### 1. Boiler



### 2. Steam Drum



### 3. Back Pressure Vessel (BPV)



### 4. Steam Drum



## 5. Ruang Generator



## 6. Name Plat Turbin



## 7. Turbin



## 8. Chimne (Cerobong Asap)



## 9. Name Plat Boiler 2



## 10. Boiler 2



## 11. Name Plat Boiler 1



## 12. Boiler 1



Cair-Uap Air Saturasi (SI)

$p$ [bar]	$t_s$ [°C]	$v_g$ [m <sup>3</sup> /kg]	$u_f$ [kJ/kg]	$u_g$ [kJ/kg]	$h_f$ [kJ/kg]	$h_{fg}$ [kJ/kg]	$h_g$ [kJ/kg]	$s_f$ [kJ/kg K]	$s_{fg}$ [kJ/kg K]	$s_g$ [kJ/kg K]
1.0	104.8	1.694	417	2506	417	2258	2675	1.303	6.056	7.359
1.1	107.1	1.549	429	2510	429	2251	2680	1.333	5.994	7.327
1.2	109.3	1.428	439	2512	439	2244	2683	1.361	5.937	7.298
1.3	111.4	1.325	449	2515	449	2238	2687	1.387	5.884	7.271
1.4	113.3	1.236	458	2517	458	2232	2690	1.411	5.835	7.246
1.5	115.2	1.159	467	2519	467	2226	2693	1.434	5.789	7.223
1.6	116.9	1.091	475	2521	475	2221	2696	1.455	5.747	7.202
1.7	118.6	1.031	483	2524	483	2216	2699	1.475	5.707	7.182
1.8	119.9	0.9774	491	2526	491	2211	2702	1.494	5.669	7.163
1.9	121.2	0.9292	498	2528	498	2206	2704	1.513	5.632	7.145
2.0	122.4	0.8856	505	2530	505	2202	2707	1.530	5.597	7.127
2.1	123.3	0.8461	511	2531	511	2198	2709	1.547	5.564	7.111
2.2	124.7	0.8100	518	2533	518	2193	2711	1.563	5.533	7.096
2.3	126.1	0.7770	524	2534	524	2189	2713	1.578	5.503	7.081
2.4	127.4	0.7466	530	2536	530	2185	2715	1.593	5.474	7.067
2.5	128.7	0.7186	535	2537	535	2182	2717	1.607	5.446	7.053
2.6	130.0	0.6927	541	2539	541	2178	2719	1.621	5.419	7.040
2.7	131.2	0.6686	546	2540	546	2174	2720	1.634	5.393	7.027
2.8	132.4	0.6462	551	2541	551	2171	2722	1.647	5.368	7.015
2.9	133.5	0.6253	556	2543	556	2168	2724	1.660	5.344	7.004
3.0	134.6	0.6057	561	2544	561	2164	2725	1.672	5.321	6.993
3.5	138.9	0.5241	584	2549	584	2148	2732	1.727	5.214	6.941
4.0	143.6	0.4623	605	2554	605	2134	2739	1.776	5.121	6.897
4.5	147.9	0.4139	623	2558	623	2121	2744	1.820	5.037	6.857
5.0	151.8	0.3748	639	2562	640	2109	2749	1.860	4.962	6.822
5.5	155.5	0.3427	655	2565	656	2097	2753	1.897	4.893	6.790
6	158.8	0.3156	669	2568	670	2087	2757	1.931	4.830	6.761
7	163.0	0.2728	696	2573	697	2067	2764	1.992	4.717	6.709
8	170.4	0.2403	729	2577	721	2048	2769	2.046	4.617	6.662
9	175.4	0.2169	742	2581	743	2031	2774	2.094	4.529	6.623
10	179.9	0.1994	762	2584	763	2015	2778	2.138	4.448	6.586
11	184.1	0.1774	780	2586	781	2000	2781	2.179	4.375	6.554
12	188.0	0.1632	797	2588	798	1986	2784	2.216	4.307	6.523
13	191.6	0.1512	813	2590	815	1972	2787	2.251	4.244	6.495
14	195.0	0.1408	828	2593	830	1960	2790	2.284	4.185	6.469
15	198.3	0.1317	843	2595	845	1947	2792	2.315	4.130	6.445
16	201.4	0.1237	857	2596	859	1935	2794	2.344	4.078	6.422
17	204.3	0.1167	870	2597	872	1923	2795	2.372	4.028	6.400
18	207.1	0.1104	883	2598	885	1912	2797	2.398	3.981	6.379
19	209.8	0.1047	895	2599	897	1901	2798	2.423	3.935	6.359
20	212.4	0.09957	907	2600	909	1890	2799	2.447	3.893	6.340
22	217.2	0.09069	928	2601	931	1870	2801	2.492	3.813	6.305
24	221.8	0.08323	949	2602	952	1850	2802	2.534	3.738	6.272
26	226.0	0.07689	969	2603	972	1831	2803	2.574	3.668	6.242
28	230.0	0.07142	988	2603	991	1812	2803	2.611	3.602	6.213
30	233.8	0.06665	1004	2603	1008	1795	2803	2.645	3.541	6.186
32	237.4	0.06246	1021	2603	1025	1778	2803	2.679	3.482	6.161
34	240.9	0.05875	1038	2603	1042	1761	2803	2.710	3.426	6.136
36	244.2	0.05544	1054	2602	1058	1744	2802	2.740	3.373	6.113
38	247.3	0.05246	1068	2602	1073	1729	2802	2.769	3.322	6.091
40	250.3	0.04977	1082	2602	1087	1714	2801	2.797	3.273	6.070

Uap Air Superpanas ( SI )

$p$ [bar] ( $t_s$ [°C])		$t$ [°C]	200	250	300	350	400	450	500	600	
			5 (151.8)	$v_g$ $u_g$ $h_g$ $s_g$	0.3748 2562 2749 6.822	$v$ $u$ $h$ $s$	0.4252 2644 2857 7.060	0.4745 2725 2962 7.271	0.5226 2804 3065 7.460	0.5701 2883 3168 7.633	0.6172 2963 3272 7.793
6 (158.8)	$v_g$ $u_g$ $h_g$ $s_g$	0.3156 2568 2757 6.761	$v$ $u$ $h$ $s$	0.3522 2640 2851 6.968	0.3940 2722 2958 7.182	0.4344 2801 3062 7.373	0.4743 2881 3166 7.546	0.5136 2962 3270 7.707	0.5528 3044 3376 7.858	0.5919 3128 3483 8.001	0.6697 3299 3701 8.267
7 (165.0)	$v_g$ $u_g$ $h_g$ $s_g$	0.2728 2573 2764 6.709	$v$ $u$ $h$ $s$	0.3001 2636 2846 6.888	0.3364 2720 2955 7.106	0.3714 2800 3060 7.298	0.4058 2880 3164 7.473	0.4397 2961 3269 7.634	0.4734 3043 3374 7.786	0.5069 3127 3482 7.929	0.5737 3298 3700 8.195
8 (170.4)	$v_g$ $u_g$ $h_g$ $s_g$	0.2403 2577 2769 6.663	$v$ $u$ $h$ $s$	0.2610 2631 2840 6.817	0.2933 2716 2951 7.040	0.3242 2798 3057 7.233	0.3544 2878 3162 7.409	0.3842 2960 3267 7.571	0.4138 3042 3373 7.723	0.4432 3126 3481 7.866	0.5018 3298 3699 8.132
9 (175.4)	$v_g$ $u_g$ $h_g$ $s_g$	0.2149 2581 2774 6.623	$v$ $u$ $h$ $s$	0.2305 2628 2835 6.753	0.2597 2714 2948 6.980	0.2874 2796 3055 7.176	0.3144 2877 3160 7.352	0.3410 2959 3266 7.515	0.3674 3041 3372 7.667	0.3937 3126 3480 7.811	0.4458 3298 3699 8.077
10 (179.9)	$v_g$ $u_g$ $h_g$ $s_g$	0.1944 2584 2778 6.585	$v$ $u$ $h$ $s$	0.2061 2623 2829 6.695	0.2328 2711 2944 6.926	0.2580 2794 3052 7.124	0.2825 2875 3158 7.301	0.3065 2957 3264 7.464	0.3303 3040 3370 7.617	0.3540 3124 3478 7.761	0.4010 3297 3698 8.028
15 (198.3)	$v_g$ $u_g$ $h_g$ $s_g$	0.1317 2595 2792 6.445	$v$ $u$ $h$ $s$	0.1324 2597 2796 6.432	0.1520 2697 2925 6.711	0.1697 2784 3039 6.919	0.1865 2868 3148 7.102	0.2029 2952 3256 7.268	0.2191 3035 3364 7.423	0.2351 3120 3473 7.569	0.2667 3294 3694 7.838
20 (212.4)	$v_g$ $u_g$ $h_g$ $s_g$	0.0996 2600 2799 6.340	$v$ $u$ $h$ $s$	0.1115 2681 2904 6.547	0.1255 2774 3025 6.768	0.1386 2861 3138 6.957	0.1511 2946 3248 7.126	0.1634 3030 3357 7.283	0.1756 3116 3467 7.431	0.1995 3291 3690 7.701	
30 (233.8)	$v_g$ $u_g$ $h_g$ $s_g$	0.0666 2603 2803 6.186	$v$ $u$ $h$ $s$	0.0706 2646 2858 6.289	0.0812 2751 2995 6.541	0.0905 2845 3117 6.744	0.0993 2933 3231 6.921	0.1078 3020 3343 7.082	0.1161 3108 3456 7.233	0.1324 3285 3682 7.507	
40 (250.3)	$v_g$ $u_g$ $h_g$ $s_g$	0.0498 2602 2801 6.070	$v$ $u$ $h$ $s$	0.0588 2728 2963 6.364	0.0664 2828 3094 6.584	0.0733 2921 3214 6.762	0.0800 3010 3330 6.935	0.0864 3099 3445 7.089	0.0988 3279 3674 7.368		
50 (263.9)	$v_g$ $u_g$ $h_g$ $s_g$	0.0394 2597 2794 5.973	$v$ $u$ $h$ $s$	0.0453 2700 2927 6.212	0.0519 2810 3070 6.451	0.0578 2907 3196 6.646	0.0632 3000 3316 6.818	0.0685 3090 3433 6.975	0.0786 3273 3666 7.258		
60 (275.6)	$v_g$ $u_g$ $h_g$ $s_g$	0.0324 2590 2784 5.890	$v$ $u$ $h$ $s$	0.0362 2670 2887 5.071	0.0422 2792 3045 6.336	0.0473 2893 3177 6.541	0.0521 2988 3301 6.719	0.0566 3081 3421 6.879	0.0652 3266 3657 7.166		
70 (285.6)	$v_g$ $u_g$ $h_g$ $s_g$	0.0274 2581 2772 5.814	$v$ $u$ $h$ $s$	0.0295 2634 2841 5.934	0.0352 2772 3018 6.231	0.0399 2879 3158 6.448	0.0441 2978 3287 6.632	0.0481 3073 3410 6.796	0.0556 3260 3649 7.088		



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Jl. Kapt. Mochtar Basri Street No.3 Medan - 20238, Telp. (061) 6619056  
Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: [rector@umsu.ac.id](mailto:rector@umsu.ac.id)

NAMA : RAFQI NAULI LUBIS  
NPM : 2007220090P  
JUDUL : ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP  
EFISIENSI GENERATOR KAPASITAS 12 MW DENGAN  
METODE *TRIAL AND ERROR* DI PT PERMATA HIJAU PALM  
OLEO BELAWAN

No	Keterangan	Tanggal	Paraf
1.	Ass. awal penulisan judul & soft. awal	20/01-'22	
2.	Ass. Bab I & II	27/01-'22	
3.	Ass. Capitan Bab I & II	07/02-'22	
4.	Ass. mengikuti Simpro ...		
5.	Evaluasi hasil Simpro	5/3-2022	
6.	Ass. Bab III penulisan Analisa	4/4-'22	
7.	Ass. Bab III Analisa perhitungan	17/6-'22	
8.	Ass. Bab IV & V Evaluasi perhitungan Efisiensi	20/8-'22	
9.	Ass. mengikuti Seminar hasil	5/9-'22	

DOSEN PENDAMPING/PEMBIMBING,

(Ir. Abdul Aziz M.M)



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Jl. Kapt. Mochtar Basri Street No.3 Medan - 20238, Telp. (061) 6619056  
Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: [rector@umsu.ac.id](mailto:rector@umsu.ac.id)

NAMA : RAFQI NAULI LUBIS  
NPM : 2007220090P  
JUDUL : ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP  
EFISIENSI GENERATOR KAPASITAS 12 MW DENGAN  
METODE *TRIAL AND ERROR* DI PT PERMATA HIJAU PALM  
OLEO BELAWAN

No	Keterangan	Tanggal	Paraf
1.	Aas. hasil analisis sumber	16/9-22	
2.	Ace mengikuti sidang	17/9-22	
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

DOSEN PENDAMPING/PEMBIMBING,

(Ir. Abdul Aziz M.M)