

**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI  
GENERATOR DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 1 DAN 2**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana S1  
pada Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung  
Semarang



**Disusun Oleh :  
FICKI CANDRA  
30601900018**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2023**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF LOAD CHANGES ON GENERATOR  
EFFICIENCY IN PLTU TANJUNG JATI B UNITS 1 AND 2**

**FINAL REPORT**

As one of the requirements for obtaining a bachelor's degree  
in the Electrical Engineering Study Program at Sultan Agung Islamic University  
Semarang



**Arranged by :  
FICKI CANDRA  
30601900018**

**ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY  
SEMARANG  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ **ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI GENERATOR DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 1 DAN 2** ” ini disusun oleh :

Nama : Ficki Candra  
NIM : 30601900018  
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada :

Hari :  
Tanggal :

Pembimbing I

Pembimbing II

  
Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT.  
NIDN. 0628086501

  
Dedi Nugroho, ST, MT  
NIDN. 0617126602

Mengetahui,  
Ka. Program Studi  
Teknik Elektro



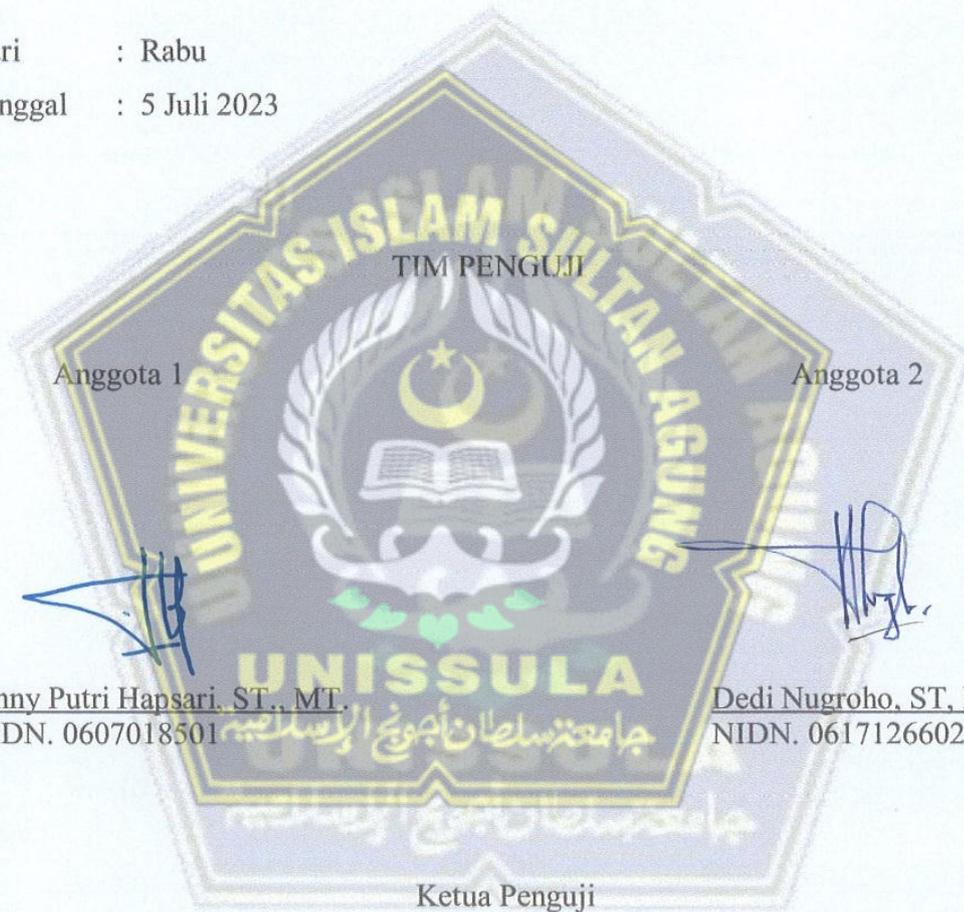
  
Jenny Putri Hapsari, ST., MT.  
NIDN. 0607018501

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan Judul “ **ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI GENERATOR DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 1 DAN 2** ” Ini telah dipertahankan didepan Dosen Penguji Sidang Tugas Akhir Pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 5 Juli 2023



Jenny Putri Hapsari, ST., MT.  
NIDN. 0607018501

Dedi Nugroho, ST, MT  
NIDN. 0617126602

Ir. Ida Widiastuti, MT.  
NIDN. 0005036501

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

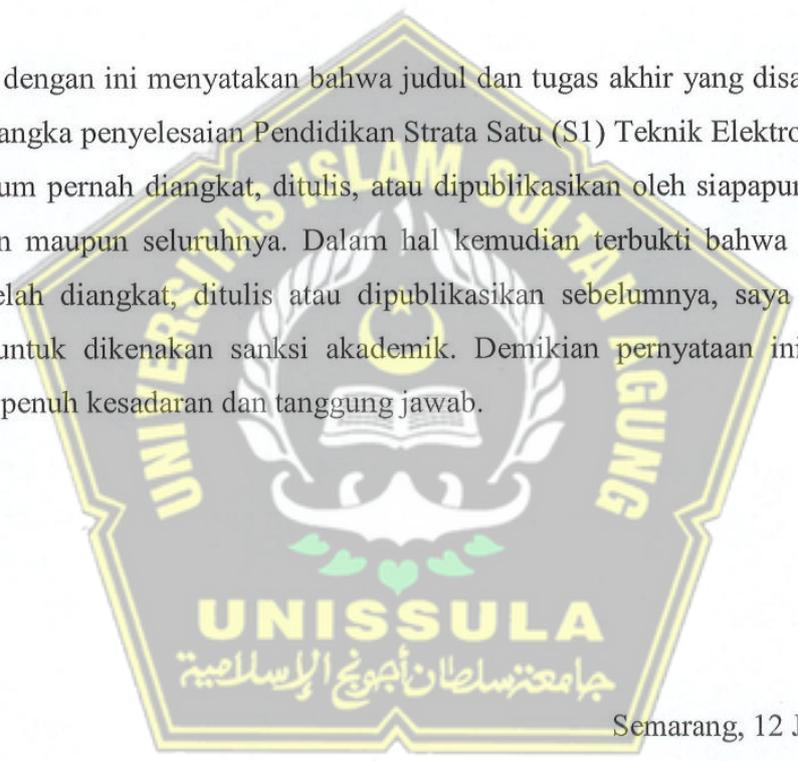
Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ficki Candra

NIM : 30601900018

Judul Tugas Akhir : ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN  
TERHADAP EFISIENSI GENERATOR DI PLTU  
TANJUNG JATI B UNIT 1 DAN 2

Penulis dengan ini menyatakan bahwa judul dan tugas akhir yang disajikan disini dalam rangka penyelesaian Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis, atau dipublikasikan oleh siapapun juga, baik sebagian maupun seluruhnya. Dalam hal kemudian terbukti bahwa judul tugas akhir telah diangkat, ditulis atau dipublikasikan sebelumnya, saya dengan ini setuju untuk dikenakan sanksi akademik. Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanggung jawab.



Semarang, 12 Juli 2023

Penulis



*Ficki Candra*

Ficki Candra  
30601900018

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr.wb

Dengan rasa syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, islam dan hidayahnya, maka dari itu, bisa diselesaikan laporan akhir ini dengan judul “ ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI GENERATOR DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 1 DAN 2 ” dapat diselesaikan secara efektif. Sehingga, saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, karena atas berkah Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini
2. Kedua orang tua yang mendukung dan berkat doa yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini
3. Ibu Dr. Ir. Hj. Novi Marlyana, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung
4. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T, M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri
5. Bapak Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho M.T, selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan dorongan dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak Dedy Nugroho S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing II atas bimbingan dan masukkan dalam penulisan tugas akhir ini.
7. Teman-teman teknik elektro angkatan 2019 yang memberikan semangat,.
8. Kakak saya mbak nana dan mas iwan yang telah memotivasi saya agar segera menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan doa dan motivasi sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.

Saya menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih banyak kekurangannya baik dari segi isi maupun penyajiannya. Sehingga, kritik dan saran dari semua pihak diharapkan. Sebagai penutup, saya menyampaikan harapan agar tulisan ini dapat memperkaya dan memberikan sumbangsih pengetahuan bagi seluruh pembaca, khususnya bagi penulis sendiri

Semarang, 12 Juli 2023

Penulis



Ficki Candra  
30601900018

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....	iv
SURAT PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
ABSTRAK .....	xii
<i>ABSTRACT</i> .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Manfaat Penelitian .....	2
1.5. Batasan Masalah .....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	3
BAB II LANDASAN TEORI .....	4
2.1. Tinjauan Pustaka .....	4
2.2. Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.3. Sistem PLTU .....	6
2.4. Komponen dasar PLTU .....	8
2.5. Generator .....	21
2.5.1 Konstruksi Generator Sinkron .....	24
2.5.2 Prinsip Kerja Generator Sinkron .....	27
2.5.3 Pengaturan Generator .....	29
2.5.4 Daya Generator .....	30
2.5.5 Rugi – Rugi Daya Generator .....	32
2.5.6 Efisiensi Generator .....	33

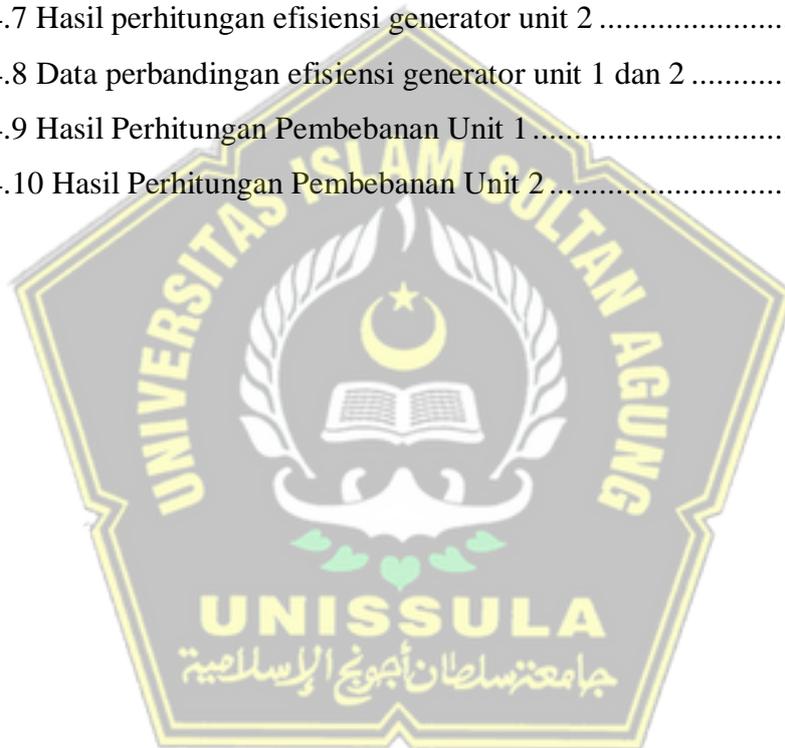
BAB III METODOLOGI .....	35
3.1. Obyek Penelitian .....	35
3.2. Data Penelitian .....	36
3.2.1 Metode Pengumpulan Data .....	36
3.3. Model Penelitian .....	37
3.3.1 Variabel penelitian .....	37
3.3.2 Teknik Pemrosesan Data .....	38
3.4. Bagan Alur Penelitian .....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	40
4.1. Data .....	40
4.1.1 Data spesifikasi generator .....	41
4.1.2 Data Logsheet Generator .....	41
4.2. Perhitungan Rugi-Rugi Generator .....	42
4.3. Perhitungan Daya masukan Generator (Pin) .....	44
4.4. Perhitungan Efisiensi Generator .....	45
4.5. Hasil Perhitungan Pembebanan Unit 1 .....	51
4.6. Hasil Perhitungan Pembebanan Unit 2 .....	52
4.7. Analisa .....	53
BAB V PENUTUP .....	55
5.1. Kesimpulan .....	55
5.2. Saran .....	55
DAFTAR PUSTAKA .....	56
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik .....	6
Gambar 2.2 Konversi Energi PLTU .....	7
Gambar 2.3 Siklus Rankine PLTU .....	8
Gambar 2.4 General Proses PLTU Tanjung Jati B unit 1 dan 2 .....	9
Gambar 2.5 Diagram neraca energi pada boiler .....	13
Gambar 2.6 Gambar sistem kerja boiler .....	14
Gambar 2.7 Diagram alir kondensor .....	18
Gambar 2.8 Generator unit 1 dan 2 di PLTU Tanjung Jati B .....	20
Gambar 2.9 Macam-macam motor listrik .....	22
Gambar 2.10 Konstruksi Generator AC .....	23
Gambar 2.11 Bentuk generator sinkron .....	24
Gambar 2.12 Konstruksi stator generator AC .....	25
Gambar 2.13 Konstruksi rotor generator AC .....	26
Gambar 2.14 Gambaran Sederhana Perbedaan Gelombang Sinus Yang Berbeda 120 Derajat Listrik .....	29
Gambar 2.15 Segitiga daya .....	30
Gambar 3.1 Lokasi PLTU Tanjung Jati B unit 1 dan 2 .....	35
Gambar 3.2 Model penelitian .....	37
Gambar 3.3 Flowcart Penelitian .....	39
Gambar 4.1 Name plate generator PLTU Tanjung Jati B unit 1 dan 2 .....	40
Gambar 4.2 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 1 dan 2 .....	48
Gambar 4.3 Grafik arus generator terhadap rugi tembaga unit 1 .....	49
Gambar 4.4 Grafik arus eksitasi terhadap rugi tembaga unit 1 .....	49
Gambar 4.5 Grafik arus generator terhadap rugi tembaga unit 2 .....	50
Gambar 4.6 Grafik arus eksitasi terhadap rugi tembaga unit 2 .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Spesifikasi Generator.....	40
Tabel 4.2 Data logsheet generator unit 1 .....	41
Tabel 4.3 Data logsheet generator unit 2 .....	41
Tabel 4.4 Total Rugi-rugi pada generator unit 1 .....	43
Tabel 4.5 Total Rugi-rugi pada generator unit 2 .....	44
Tabel 4.6 Hasil perhitungan efisiensi generator unit 1 .....	45
Tabel 4.7 Hasil perhitungan efisiensi generator unit 2 .....	46
Tabel 4.8 Data perbandingan efisiensi generator unit 1 dan 2 .....	47
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Pembebanan Unit 1 .....	51
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Pembebanan Unit 2 .....	52



## ABSTRAK

Dari tahun 2006 sampai sekarang generator beroperasi, diperkirakan efisiensi generator mengalami penurunan akibat beberapa faktor seperti terjadinya *derating* (penurunan beban) atau *trip* (unit shutdown). Oleh karena itu perlu dilakukan analisa terhadap efisiensi generator apakah generator masih dalam batasan kondisi yang andal atau tidak. Tingkat efisiensi generator dipengaruhi oleh ukuran beban dan total rugi-rugi yang terjadi di dalam generator tersebut. Semakin besar rugi-rugi yang terjadi, semakin tinggi tingkat kerugian daya pada generator tersebut. Metode yang dipakai yaitu metode kuantitatif yang berfokus pada penggunaan data numerik dalam analisisnya. Penelitian ini juga penelitian deskriptif kuantitatif yang bermaksud untuk menguraikan suatu kejadian secara terstruktur dan teliti. Teknik akumulasi data memakai observasi, tanya jawab dan studi literatur. Dari hasil perhitungan daya output terhadap daya input generator pada periode 1 Februari 2023 hingga 10 Februari 2023, dapat diamati bahwa rata-rata efisiensi harian pada generator unit 1 dan 2 adalah 98,17% dan 98,14%. Jika dibandingkan dengan nilai efisiensi rata-rata yang tercantum dalam manual book generator yang dimiliki oleh PT TJBPS, yaitu sekitar  $\pm 98\%$  secara desain, maka nilai efisiensi generator pada PLTU Tanjung Jati B unit 1 dan 2 saat ini sangat efisien. Hasil perhitungan dan grafik efisiensi generator menunjukkan bahwa efisiensi tersebut sangat dipengaruhi oleh besarnya beban yang digunakan. Semakin besar nilai beban atau output generator, semakin rendah nilai efisiensinya, sedangkan semakin kecil nilai beban atau output generator, semakin tinggi nilai efisiensinya.

**Kata Kunci :** Efisiensi Generator, Rugi-Rugi total, PLTU Tanjung Jati B unit 1 & 2

## ABSTRACT

From 2006 until now the generator operates, it is estimated that the efficiency of the generator has decreased due to several factors such as derating (load reduction) or trip (unit shutdown). The efficiency level of the generator is influenced by the size of the load and the total losses that occur in the generator. The greater the losses that occur, the higher the level of power loss in the generator. The method used is a quantitative method that focuses on the use of numerical data in the analysis. This research is also a quantitative descriptive research that intends to describe an event in a structured and thorough manner. Data accumulation techniques use observation, question and answer and literature study. From the results of calculating the output power to generator input power in the period 1 February 2023 to 10 February 2023, it can be observed that the average daily efficiency at generator units 1 and 2 are 98.17% and 98.14%. When compared with the average efficiency value listed in the generator manual book owned by PT TJBPS, which is around  $\pm 98\%$  by design, the generator efficiency value at PLTU Tanjung Jati B units 1 and 2 is currently very efficient. The calculation results and generator efficiency graphs show that the efficiency is strongly influenced by the amount of load used. The greater the generator load or output value, the lower the efficiency value, while the smaller the generator load or output value, the higher the efficiency value.

**Keywords** : Generator Efficiency, Total Losses, PLTU Tanjung Jati B units 1 & 2

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bertambahnya pabrik dan populasi menjadi faktor utama dalam meningkatkan kebutuhan energi listrik. Hal ini berimbas pada perkembangan teknologi dan industri yang semakin pesat, yang pada akhirnya mempengaruhi kebutuhan listrik. Kebutuhan listrik di Indonesia diperkirakan tumbuh rata-rata 8,3% hingga tahun 2026, dengan sektor industri mencapai 9,2%. (PLN, 2017). Oleh karena itu, diperlukan peningkatan produksi energi listrik dengan fokus pada teknik mesin, sistem operasi, dan pemeliharaan produksi listrik.

PLTU Tanjung Jati B dioperasikan dengan baik dan ramah lingkungan. PLTU ini menghasilkan 4 x 710 MW gross power dan 4 x 660 MW net power. Jumlah kapasitasnya setara dengan kurang lebih 12% kepentingan listrik Jawa dan Bali, menjadikannya sebagai proyek besar nasional. Dengan teknologi terkini seperti FGD (*Flue Gas Desulfurization*), PLTU Tanjung Jati B dapat menjaga nilai ekonomis batubara dan meminimalkan emisi pembakaran. Pemeliharaan dan pengoperasian unit 1 dan 2 berada di bawah tanggung jawab PT. TJB Power Services (TJBPS), sedangkan unit 3 dan 4 dioperasikan dan dipelihara PT. Komipo Pembangkitan Jawa Bali (KPJB).

Generator dalam sistem listrik digunakan untuk mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Dalam pengelolaan pembangkitan tenaga listrik, kebutuhan daya listrik dapat berfluktuasi sesuai dengan jumlah beban yang digunakan, sehingga berpengaruh terhadap efisiensi operasional generator sebagai pembangkit listrik. Dari tahun 2006 sampai sekarang generator beroperasi, diperkirakan efisiensi geerator mengalami penurunan akibat beberapa faktor seperti terjadinya *derating* (penurunan beban) atau *trip* (unit shutdown). Oleh karena itu perlu dilakukan analisa terhadap efisiensi generator apakah generator masih dalam batasan kondisi yang andal atau tidak. Besarnya

perubahan beban yang ditangani oleh generator perlu diperhitungkan dan disesuaikan dengan karakteristik peralatan untuk mempertahankan stabilitas generator serta mencapai kinerja dan efisiensi generator yang optimal.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi generator di PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan 2?
2. Bagaimana cara menghitung efisiensi generator pada kondisi beban fluktuatif di PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan 2?
3. Apakah kinerja generator di PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan 2 sesuai standar spesifikasi yang ada?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi generator di PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan 2
2. Mendapatkan nilai efisiensi generator pada beban fluktuatif di PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan 2
3. Memperkirakan kinerja pembangkit di PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan 2 berdasarkan standar spesifikasi yang ada.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui pengaruh beban dalam meningkatkan efisiensi generator
2. Bagi peneliti : sebagai sumber pembelajaran dalam pengembangan teknologi di bidang pembangkit listrik.
3. Hasil riset bisa dijadikan literatur pada penelitian selanjutnya terkait efisiensi pembangkit PLTU pada beban yang diberikan.

### 1.5. Batasan Masalah

Batas permasalahan penelitian ini yaitu :

1. Membahas analisa perhitungan efisiensi generator di PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan 2 pada saat pembebanan
2. Dampak beban fluktuasi terhadap efisiensi generator di PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan 2
3. Fluktuasi beban yang diukur dari tanggal 1 Februari – 10 Februari 2023
4. Hanya menganalisa efisiensi pada komponen generator

### 1.6. Sistematika Penulisan

Agar terstruktur serta mudah dimengerti, maka dibuatlah sistematika penyusunannya sebagai berikut :

#### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini membicarakan latar belakang masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, permasalahan yang terkait, serta akan dijelaskan sistematika penyusunan.

#### **BAB II. LANDASAN TEORI**

Bab ini membahas teori-teori umum yang menopang persoalan yang dibahas.

#### **BAB III. METODOLOGI**

Bab ini mencakup penerapan teori dasar sebagai pendekatan untuk menghitung efisiensi generator.

#### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menganalisa hasil perhitungan beban pembangkitan di PLTU Tanjung Jati B unit 1 dan 2

#### **BAB V. PENUTUP**

Bab ini menjadi akhir dari pengkajian, meliputi kesimpulan diambil dari hasil analisis dan usulan pengembangan untuk riset kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan literatur

Menampilkan tinjauan literatur dalam penulisan tugas akhir merupakan hal yang esensial untuk mendapatkan temuan penelitian masa lalu berhubungan dengan penelitian saat ini. Beberapa referensi seperti :

Tugas akhir Dwi Cahyadi pada tahun 2015 dengan judul "Analisis Perhitungan Efisiensi Generator Turbin QFSN300-2-20B UNIT 10 DAN 20 PT. PJB UBJOM PLTU REMBANG" dapat memberikan panduan dalam menuliskan skripsi. Dalam tugas akhir tersebut, ditemukan bahwa pada tanggal 10 Februari 2015, efisiensi terendah Unit 10 adalah sebesar 90,75%, sementara efisiensi tertinggi adalah 95,93% pada tanggal 3 Februari 2015. Sebaliknya unit 20 memiliki efisiensi terendah di hari ke-8 yaitu 90,46%, dan tertinggi di hari ke-6 yaitu 94,66%. Dari pengamatan tersebut terlihat bahwa nilai efisiensi turbin & generator telah turun sejak perancangannya dari  $\pm 98\%$  ke 93,15%.(Cahyadi and Hermawan, 2015)

Sefto Jepersen melakukan penelitian tahun 2016 berjudul "Analisis Beban Pada Efisiensi Generator Sinkron Unit 1 Pada PLTU PT.BUKIT ASAM (PERSERO) TBK Tanjung Enim-Sumatera Selatan" menentukan bagaimana banyak beban mempengaruhi efisiensi generator. Berdasarkan temuan penelitian, rata-rata efisiensi harian generator sebesar 84,74% dicapai antara tanggal 24 Maret 2016 hingga 30 Maret 2016. Dari hasil tersebut beban yang digunakan berpengaruh signifikan terhadap efisiensi. Efisiensi generator akan meningkat ketika beban lebih besar, dan begitu pula sebaliknya. (Jepersen, 2016)

"Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator 70 MVA Unit 1 di Pembangkit Listrik Tenaga Air Bakaru" Tugas akhir yang dibuat oleh Febryan Billy Grehem Sihite pada tahun 2021. Membahas mengenai Pengaruh pembebanan terhadap efisiensi generator sangat berpengaruh, jika beban naik maka arus meningkat mempengaruhi rugi-rugi pada kumparan yang menyebabkan meningkat juga daya eksitasi, akibat meningkatnya rugi-rugi

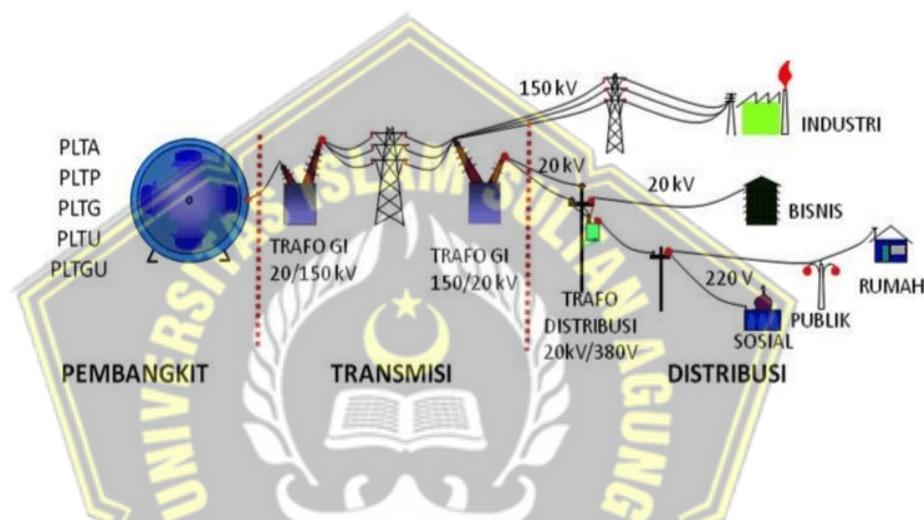
kumpulan maka akan meningkatkan rugi-rugi total, dimana rugi-rugi total dan daya eksitasi berhubungan dengan daya input (Pin) generator, bila daya input besar dibandingkan daya output maka akan menyebabkan efisiensi menurun, tergantung dengan perubahan beban berapa yang diminta oleh pihak UP2B. Efisiensi terbesar yaitu 97,96 % pada beban 63 MW, arusnya 3341 A, dengan rugi totalnya 1,3421 MW, daya eksitasi sebesar 0,12421 MW. Kemudian untuk efisiensi terkecil yaitu 96,23 % pada beban 9 MW, arusnya 1468 A, dengan rugi totalnya 1,251200 MW, daya eksitasi sebesar 0,102410 MW. (Febryan, 2021)

“Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator di PLTG Borang dengan Menggunakan Software Matlab” Tugas akhir yang dibuat oleh Muhammad Noer, pada tahun 2017 Membahas tentang efisiensi pada generator terhadap Naik turunnya beban dengan memerlukan data pembebanan generator perharinya. Dari penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Noer bahwa efisiensi dapat dilihat berdasarkan komparasi daya output dengan daya input pada tanggal 16/3/2016 sampai dengan 18/3/2016, bahwa rata-rata efisiensi harian generator bervariasi antara 99,87% sampai dengan 99,88% . Menurutnya efisiensi berbeda-beda tergantung arus beban serta daya yang diciptakan beban, karena dapat berpengaruh terjadinya kehilangan daya pada generator, karena semakin kecil rugi daya maka efisiensi semakin tinggi pada generator. (Noer, 2017)

## 2.2. Sistem Tenaga Listrik

Komponen utama sistem kelistrikan adalah pembangkit listrik, saluran transmisi, gardu induk, sistem distribusi dan konsumen. Listrik dibuat di pembangkit listrik dan kemudian dibawa ke saluran transmisi, gardu induk dan sistem distribusi. Untuk mendistribusikan energi listrik, itu harus dikendalikan oleh jaringan transmisi sangat jauh dari pembangkit listrik karena biasanya listrik disalurkan melalui sistem yang dekat dengan sumbernya. Untuk memanfaatkan listrik menggunakan trafo tegangan, kemudian harus di distribusikan melalui sistem transmisi ke gardu induk. Dari sana dapat diarahkan ke sumber beban. Pada saat daya listrik mendekati beban atau gardu

induk, tegangan diturunkan dengan menggunakan trafo step down pada gardu induk. Ini karena tegangan yang lebih tinggi mengurangi arus yang mengalir di saluran transmisi. Tegangan diturunkan dari tegangan menengah ke tegangan rendah 220V/380V disalurkan melalui saluran distribusi ke pusat beban. Selanjutnya, melewati gardu distribusi di mana diturunkan menjadi 20 kV. Tegangan ini kemudian di distribusikan ke gardu distribusi yang merupakan bagian dari gardu induk. (Wibowo, 2018)



**Gambar 2.1** Sistem penyaluran tenaga listrik

(Sumber : Saluran Distribusi Listrik – PT. ARRASYA TEKNIK MANDIRI. 2023)

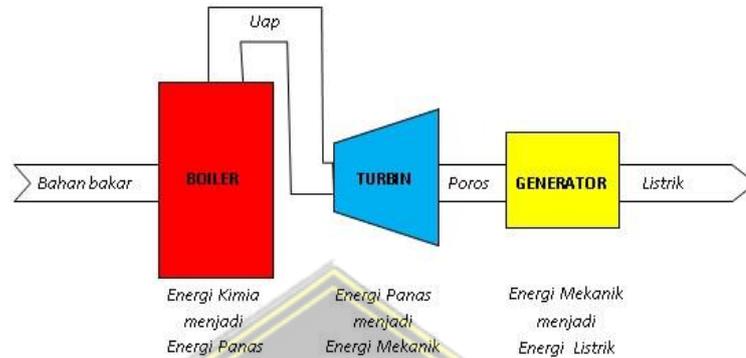
### 2.3 Sistem PLTU

PLTU adalah pembangkit yang menggunakan tenaga uap sebagai penggerak turbin, dimana poros dari turbin ini dikopel dengan poros generator. Untuk menghasilkan uap, maka haruslah ada proses pembakaran untuk memanaskan air. PLTU merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. (Leko, B. B., Noor, N. A., & Usman, U. 2021)

3 tahapan pengkonversian energi di PLTU yaitu :

1. Proses yang awal, pada bahan bakar yang digunakan terkandung energi kimia yang mana akan dikonversikan menjadi energi panas atau uap dibawah temperatur dan tekanan yang besar.

2. Proses berikutnya, energi panas tadi dipindah lagi ke energi mekanik
3. Proses konversi yang terakhir yaitu perubahan energi dari mekanik menjadi listrik.



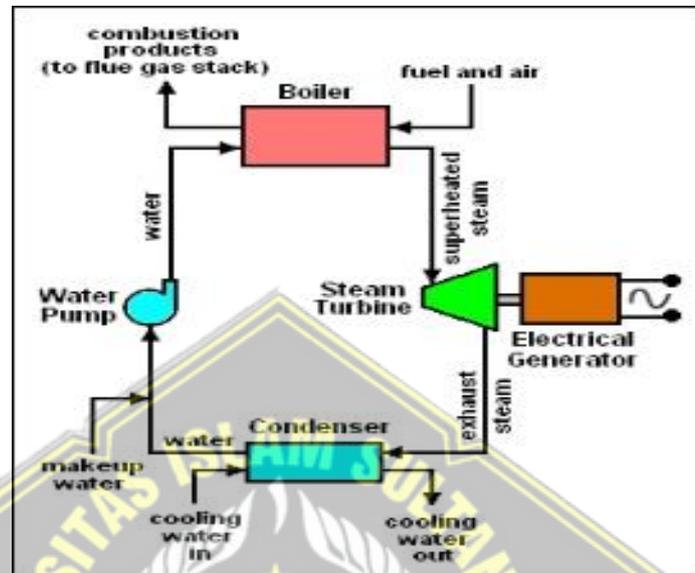
**Gambar 2.2** Konversi energi PLTU

(Sumber : Prinsip Kerja PLTU, 2023)

Siklus yang dipakai yaitu siklus tertutup yang artinya pembangkit menggunakan perputaran fluida dengan metode tertutup. Dalam metode siklus tertutup ini terjadi proses penggunaan fluida berulang kali dengan fluida yang sama. Proses tersebut lebih dikenal dengan istilah siklus rankine. Siklus rankine secara garis besar dapat dijabarkan seperti berikut ini :

1. Isi ketel dengan air sampai seluruh permukaan distribusi panas terisi. Air menjadi uap panas setelah air tersebut dipanaskan oleh gas panas hasil pembakaran pada boiler.
2. Air yang sudah menjadi uap dengan pressure dan temperature yang tinggi tersebut disalurkan menuju turbin untuk menggerakkan turbin uap tersebut sehingga menghasilkan energi mekanik.
3. Akibat dari gerakan turbin uap tersebut, membuat alternator yang dihubungkan dengan turbin juga bakal berotasi dan dihasilkannya daya listrik menjadi daya keluaran generator.
4. Setelah uap menggerakkan turbin, uap tersebut masuk ke kondensor untuk dilakukan proses kondensasi yaitu uap didinginkan supaya berubah jadi air kembali dinamakan air kondensat, setelah itu air

kondensat dimanfaatkan lagi untuk kembali ke proses nomor 1 yaitu diisikan ke boiler.



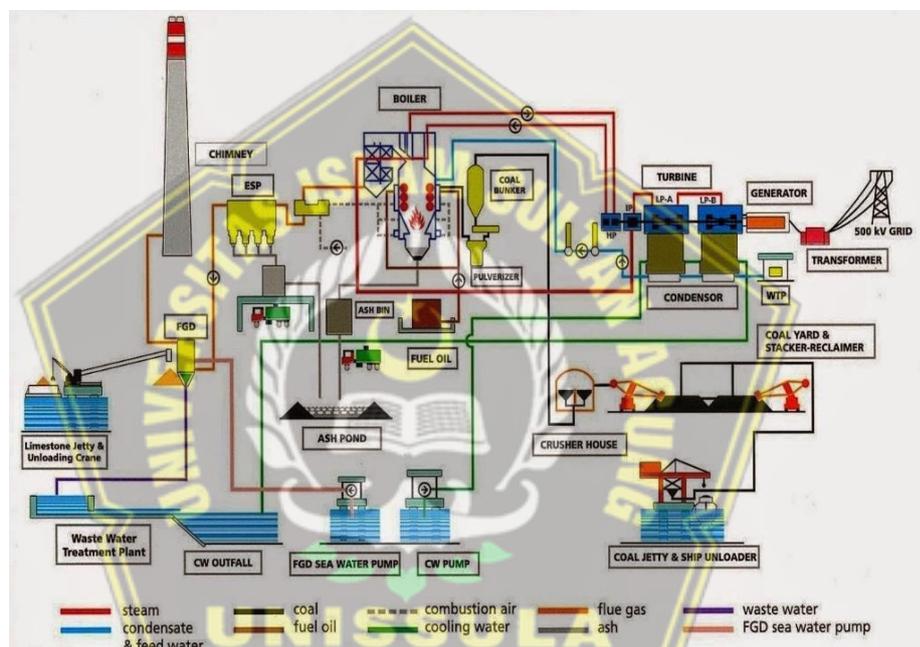
Gambar 2.3 Siklus Rankine PLTU  
(Sumber : Prinsip Kerja PLTU, 2023)

#### 2.4. Komponen dasar PLTU

Struktur dan bahan utama PLTU ditunjukkan pada Gambar 2.4. Ketel berfungsi seperti kompor, perpindahan panas terjadi melalui bahan bakar ke rangkaian pipa air yang mengelilingi api. Bahkan saat bekerja dengan pompa, air selalu harus mengalir kemudian dipanaskan dengan menggunakan bahan bakar batu bara untuk menghasilkan uap bertekanan dan bersuhu tinggi, dimana uap melewati superheater ke turbin bertekanan tinggi setelah melalui superheater guna menaikkan suhu uap menjadi  $500 - 600^{\circ} \text{C}$ . Ini juga mengeringkan uap dan meningkatkan efisiensi. (Hariansyah, R., & Rameli, I. M. 2019)

Turbin tekanan besar mengonversikan energi termal menjadi daya mekanik dengan memperluas uap yang keluar di atas bilah turbin. Pada hal ini, nilai tekanan serta suhu uap berkurang. Untuk menambah efisiensi termal dan mencegah kondensasi dini, uap mengalir dalam superheater, yang juga terdiri atas barisan bejana pemanas. Uap dari preheater lalu dialirkan ke turbin tekanan sedang. Meninggalkan preheater dan bersirkulasi ke turbin tekanan

sedang. Turbin tekanan sedang makin besar daripada turbin tekanan tinggi sebab semakin sedikit tekanan uap, semakin kecil volumenya. Uap selanjutnya dikirim dari turbin tekanan rendah ke lebih tinggi. Uap keluar dikondensator saat uap yang sudah mendekati kondensator diademkan oleh air pendingin, terjadilah kondensasi. Air pendingin umumnya bersumber dari laut, maupun danau yang jauh. Kondensasi uap menghasilkan dorongan yang dibutuhkan untuk menambah efisiensi turbin. Air panas yang mengalir dari kondensator dipompa ke heater sebelum balik ke badan boiler. (Hariansyah, R., & Rameli, I. M. 2019)



**Gambar 2.4** General Proses PLTU Tanjung Jati B unit 1 dan 2

(Sumber : Kholiq, 2015).

Berdasarkan beberapa penelitian yang dijalankan, hal tersebut menambah efektivitas PLTU secara menyeluruh. Selain komponen utama tersebut, setiap PLTU juga memiliki berbagai komponen dan alat pendukung lainnya untuk mengoperasikan keseluruhan sistem, seperti steam valve, disc cleaner, pompa oli pelumas dan alat sejenis lainnya. Pembangkit listrik berbahan bakar batu bara harus punya beberapa akomodasi buat menerima batu bara dari sungai atau laut, dan beberapa fasilitas penyimpanan batu bara dengan beberapa fasilitas penggilingan.

## A. Bagian Utama

### 1. Ketel uap (boiler)

Ketel Uap sering disebut boiler, yaitu komponen utama di PLTU yang digunakan sebagai penghasil uap. Uap itu kemudian diarahkan ke ketel uap.

#### a.) Cara kerja ketel uap

Intensitas panas yang dihasilkan pada mekanisme boiler mempunyai tekanan, suhu, beserta kecepatan aliran khusus, yang menetapkan sasaran uap yang hendak digunakan. Menurut ketiga hal tersebut, mekanisme boiler bisa berfungsi pada tekanan rendah dan suhu rendah (low pressure/LP) maupun tekanan tinggi bersama suhu tinggi (high pressure/HP). Uap yang mengalir melalui sistem boiler digunakan pada proses menghangatkan cairan dan menjalankan mesin (komersial dan industri), atau dengan memindahkan daya termal menjadi daya mekanik guna menciptakan listrik, yang pada gilirannya menguatkan generator untuk menciptakan listrik (boiler power). Tetapi, terdapat pula tipe boiler yang memadukan keduanya. Sistem boiler fungsional di mana tekanan tinggi serta suhu tinggi digunakan untuk memproduksi listrik, sedangkan bekas uap tekanan rendah dengan suhu rendah bisa digunakan pada proses industri menggunakan bantuan boiler rekonstruksi panas. (Putri, Z. Z.2020).

Mekanisme boiler terjadi melalui sistem suplai air, sistem uap dan sistem bahan bakar. Proses suplai air secara otomatis menyuplai air sebanding dengan permintaan uap. Berbagai macam valve ditawarkan untuk perawatan dan pembaruan sistem air umpan di mana pengerjaan air umpan diperlukan sebagai bentuk perawatan guna menghindari kerusakan dalam sistem steam. Sistem uap menggabungkan dan mengendalikan pembuatan uap di boiler. Uap dialirkan ke titik konsumen. Di semua sistem, tekanan uap diatur memakai katup serta dipantau oleh peninjau tekanan. Sistem bahan bakar tergolong perlengkapan yang berguna menyuplai peralatan bakar yang dibutuhkan. Perlengkapan bermacam-macam tergantung dari jenis bahan bakar yang diterapkan di sistem. (Putri, Z. Z.2020).

b.) Susunan ketel uap

Struktur ketel uap terdiri atas beberapa bagian, antara lain:

1. Dinding pipa

Dinding bejana yaitu kumpulan bejana yang menciptakan dinding ketel serta dipasang secara tegak di keempat sisinya, membuat ruang bakar persegi panjang. Dinding Bejana berperan menjadi pemanas air area yang besar guna memperlancar sistem evaporasi.

2. Burner (instrumen pembakar)

Burner dalam ketel difasilitasi menggunakan nozzle serta diffuser udara guna penggabungan bahan bakar sama udara secara menyeluruh guna pembakaran yang optimal.

3. Drum boiler

Drum ketel terbentuk dari baja lempengan serta berupa silinder yang horizontal di atas kumpulan pipa pemanas. Drum Ketel berperan menjadi wadah air dan uap basah pada Sekat Pipa juga sebagai pembatas uap dengan air.

4. Superheater (Pemanas bantu)

Superheater terdiri atas serangkaian bejana spiral yang terletak pada komponen atas ruang bakar. Fungsinya guna menghangatkan steam basah menjadi steam kering.

5. Economizer

Economizer terdiri dari kumpulan bejana spiral yang dipasang dalam pipa gas sisa. Tugasnya yaitu menghangatkan air sebelum masuk ke dalam drum.

6. Pemanas udara

Instrumen yang terbuat dari bejana sejajar yang diletakkan di atas pipa gas yang rusak serta digunakan untuk menghangatkan udara buat pembakaran.

c.) Bagian pendukung boiler

Komponen penunjang boiler mencakup :

### 1. Forced Draft Fan

Blower fan sebagai penyalur udara akibat pembakaran ke dalam ruang bakar, dipasang di ujung pipa udara masuk ketel uap serta dikendalikan dengan mesin listrik.

### 2. Pemanas MFO

MFO Heater adalah sarana untuk menghangatkan bahan bakar berwujud MFO (Marine Fuel Oil) dengan maksud untuk mengurangi kekentalan MFO. Ini berguna sebab MFO mempunyai viskositas yang relatif besar dan susah untuk diatomisasi dalam burner. Dengan menghangatkan MFO, viskositasnya bisa diturunkan sehingga mampu teratomisasi dengan baik serta memberikan pembakaran yang efisien.

### 3. Air Preheat Coil

Koil pemanas awal udara digunakan buat menghangatkan udara sebelum memasuki pemanas udara melalui sumber panas air pada deaerator. Udara yang diterima ke air heater perlu dihangatkan dulu supaya tidak terbentuk selisih suhu yang berlebihan.

### 4. Pemanas air

Pemanas udara adalah pemanas udara yang mengekstraksi panas melalui gas buang hasil pembakaran sebelum diterima ke pipa asap (cerobong asap). Ketika memakai gas tersebut, pengeluaran bahan bakar bisa dihemat dan efisiensi pembakaran bertambah. Tipe air heater yang diaplikasikan di PLTU yaitu tipe Ljungstrom yang telah populer dengan unjuk kerja dan ketahanannya yang telah terbukti. Penyempurnaan dan pemeliharaan berkala gampang dilakukan dengan pemanas udara jenis ini sebab desainnya yang sederhana. Pemanas udara terdiri atas ujung panas dan ujung dingin. Pemanas air yang digunakan pada PLTU ini bertipe regeneratif di mana gas buang melintasi selungkup terkunci guna menghangatkan beberapa bagian pemanas udara, serta bagian yang dipanaskan ini dipindahkan ke selungkup berbeda di mana udara bakal dipanaskan, memproduksi peralihan panas dengan konduksi.

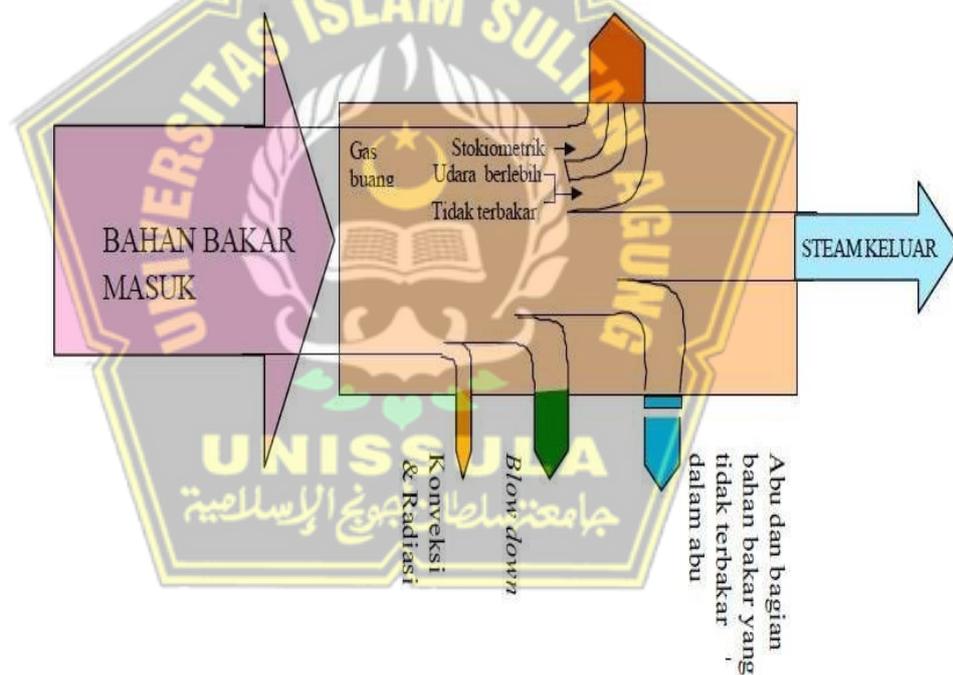
### 5. Burner

Burner merupakan sarana yang digunakan guna membakar kombinasi bahan bakar-udara di ruang bakar dalam boiler.

### 6. Gas Recirculating Fan

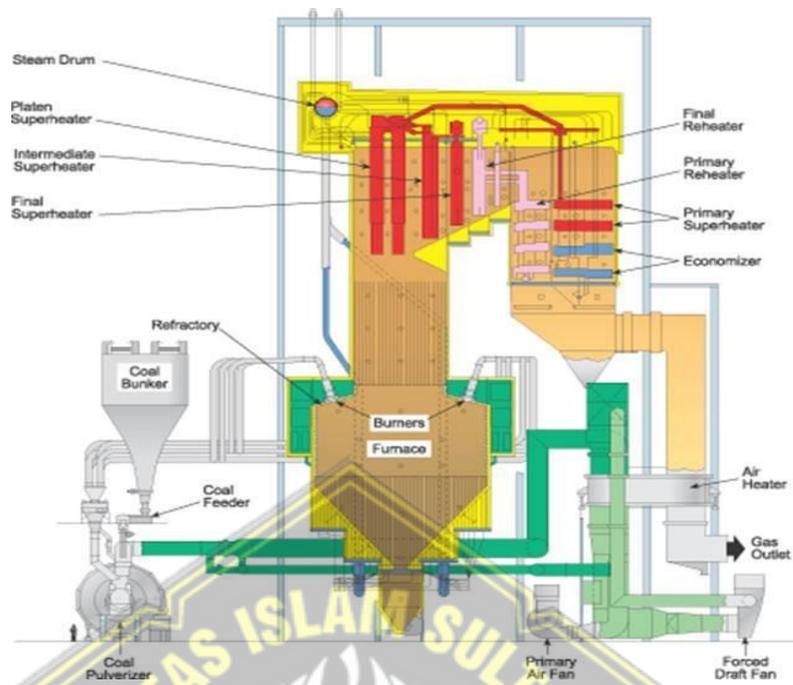
Gas Recirculating Fan digunakan untuk mengendalikan komponen dari bekas gas pembakaran (flue gas) kembali ke furnace guna menambah efisiensi ketel uap.

7. Safety valve : Berperan sebagai sarana penyelamat bila timbul tekanan uap berlebihan yang diciptakan oleh ketel uap. Overpressure bisa timbul sebab panas yang ketel uap berlebihan ataupun pengurangan beban turbin yang ekstrem.



**Gambar 2.5** Diagram neraca energi pada boiler

(Sumber : Sinaga, R. D. 2015).



**Gambar 2.6** Gambar sistem kerja boiler

(Sumber : Hariansyah, R., & Rameli, I. M. 2019)

## 2. Turbin Uap

Turbin uap yaitu mesin untuk mengonversikan energi termal yang menjadi energi gerak berbentuk gerakan poros. Strukturnya tersusun atas rumah turbin serta rotor. Terdapat sebaris baling-baling jalan di roda turbin yang kemudian mengakibatkan rotor berotasi. Turbin uap pada PLTU terpisah jadi 3 level :

### 1. High Pressure Turbine (HP Turbin)

Turbin awal yang menerima uap primer dari superheater. Terdiri dari casing, cam chamber, rim ring, dummy ring, LP dummy ring, blades, rotor, bearing, serta body. Mempunyai katup buat mengendalikan jumlah uap yang masuk ke dalam turbin.

2. Intermediate Pressure Turbine (IP Turbin): Uap yang dipanaskan di reheater masuk ke turbin IP dan memutarinya. Terdiri dari pisau IP dan rotor IP.

3. Low Pressure Turbine (LP Turbin): Menerima uap kering dari turbin tekanan menengah (LP) dan menjalani ekspansi tanpa perlu pemanasan ulang. Uap dari turbin LP langsung diredam oleh kondensor buat

dikondensasikan dengan media pendingin berupa sea plume. Turbin LP memiliki dua saluran keluar yang mengarah ke kondensor. Turbin ini adalah suatu perangkat yang mengkonversi energi uap yang diciptakan oleh ketel uap menjadi energi mekanik.

a.) Komponen-Komponen Turbin Uap

Komponen utama turbin uap meliputi:

1. Sudu tetap

Sudu – sudu yang digunakan buat mengendalikan uap yang masuk

2. Sudu gerak

Sudu – sudu yang digunakan untuk mendapatkan dan memindahkan energi kinetik menjadi daya mekanik

3. Poros (shaft)

Poros digunakan buat mentransfer gerakan turbin ke beban. Poros dihubungkan bersama dengan rotor, bila rotor berotasi maka poros ikut berputar.

4. Casing (Rumah Turbin)

Casing berfungsi sebagai penutup komponen penting turbin.

5. Katup - Katup Pengatur Beban

Katup kontrol beban, dikenal sebagai katup pengatur, mengatur jumlah uap yang diterima turbin. Pembukaan masing-masing katup tergantung pada persyaratan beban.

6. Stop valve (katup pemutus)

Katup yang digunakan menyalurkan atau menghentikan aliran uap yang menuju turbin

7. Control valve (katup pengatur)

Katup yang mengatur pasokan uap ke turbin tergantung pada total uap yang dibutuhkan.

8. Bearing (bantalan)

. Bearing berfungsi sebagai pegangan putar, sehingga mampu berotasi serta tetap pada tempatnya.

## b.) Peralatan Bantu Turbin Uap

Peralatan bantu untuk turbin meliputi:

### 1. Sistem Pelumasan

Tujuan dari mekanisme pelumasan turbin yaitu buat menghindari korosi, keausan pada komponen turbin yang berputar, memindahkan partikel pengotor yang disebabkan oleh tekanan serta berperan menjadi pendingin.

### 2. Sistem Perapat/Seal

Proses sealing buat menghindari uap keluar dari dalam turbin ke luar ataupun kebalikannya dengan gland seal .di sekeliling sumbu turbin.

### 3. Sistem Turning Gear

Perlengkapan penunjang turbin berperan buat mengamankan pengoperasian turbin ketika start-up dan shut down. Roda transmisi digerakkan oleh penggerak listrik AC yang memutar sumbu turbin menjadi sarana kendali jarak jauh dari inti sensor beban.

### 4. Sistem Governor

Governor merupakan adalah perangkat yang mengatur kecepatan turbin. Setiap turbin uap membutuhkan pengatur, baik itu untuk menggerakkan alternator listrik, pompa air, atau blower. Tipe governor yang umum dipakai adalah elektronik dan hidrolik-mekanik.

### 5. Sistem proteksi

Bentuk perlindungan turbin terdiri dari bahan mekanik, hidrolik, serta listrik yang dibuat untuk melindungi operasi turbin bahkan dalam keadaan terburuk..

### 6. Condenser

Kondensor digunakan untuk mengembunkan uap sisa dari turbin menjadi feedwater untuk boiler. Uap sisa bertekanan rendah masuk ke kondensor melewati pipa yang berisi fluida kerja seperti air laut atau air tawar.

Kontrol turbin uap juga melibatkan pengaturan kecepatan dengan mengatur pembukaan dan penutupan katup. Sistem katup uap (katup pengatur) melayani tujuan berikut:

- a) Sebagai pengatur kecepatan turbin sebelum genset online.
- b) Sebagai pengontrol setelah alternator disinkronkan dengan jaringan lokal dimana unit berfungsi sebagai master (island operator).
- c) Sebagai pengatur beban yang dihasilkan oleh alternator saat disinkronkan dengan grid. Sistem kontrol ini beroperasi berdasarkan pengurangan kecepatan yang telah ditentukan untuk membuat frekuensi grid.
- d) Sebagai perangkat perlindungan untuk memastikan pengoperasian turbin yang aman.
- e) Sebagai alat kendali jarak jauh dari pusat pengukuran beban.

Peran shutdown melekat kaitannya dengan regulator sebab pada saat terjadi shutdown maka regulator yang ada secara spontan mematikan steam ke turbin sehingga turbin mati..

#### d.) Jenis-Jenis Turbin

Secara universal turbin yang terdapat dikala ini dipecah jadi 3 tipe Ini tercantum

##### 1. Turbin uap

Turbin uap adalah mesin putar yang berperan mengganti tenaga panas yang tercantum dalam uap jadi tenaga mekanik dalam wujud putaran poros.

##### 2. Turbin gas

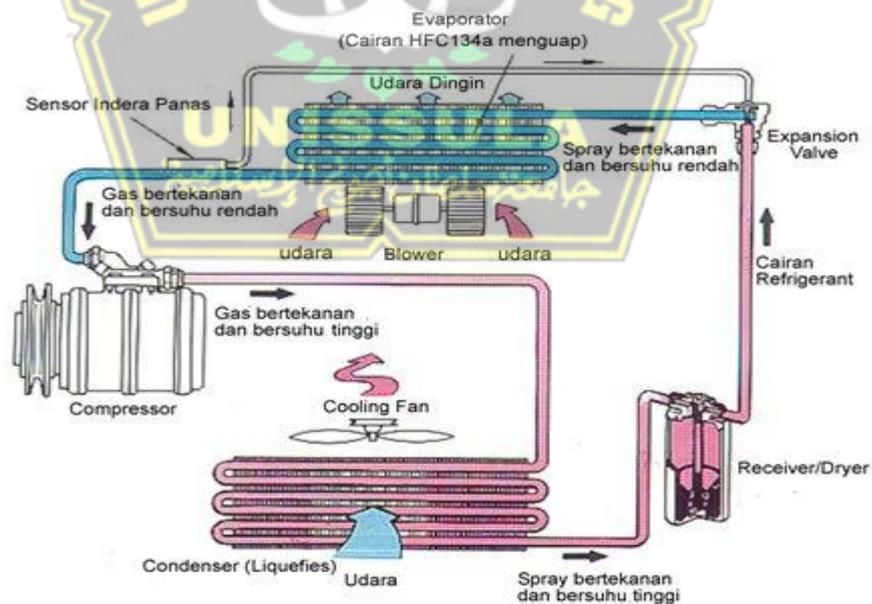
Turbin gas terdiri dari komponen utama semacam bagian masuk air (air inlet section), bagian kompresor (compressor section), bagian pembakaran (combustion section), bagian turbin (turbine section), serta bagian pembuangan (exhaust section). Komponen pendukung turbin gas meliputi perlengkapan buat start, sistem pelumas, sistem pendingin, serta sebagian komponen pendukung yang lain

### 3. Turbin air

Turbin air merupakan pengganti tenaga potensial air jadi tenaga mekanik. umumnya menggunakan tenaga potensial air yang terkumpul dalam kapasitas yang banyak di suatu bendungan.

### 3. Kondensor

Kondensor berfungsi sebagai pengembunan uap yang dipakai sebagai pemutar turbin. Tujuannya untuk menghemat sumber discuss dan untuk memastikan kemurnian discuss yang digunakan dalam sistem turbin. Fungsi kondensor yaitu mengembunkan uap bekas dan membuang panas laten dari turbin tekanan rendah dengan nilai suhu  $57,24^{\circ}\text{C}$ , mentransfer suhu uap dengan suhu  $29,40^{\circ}\text{C}$  dan konverter pendingin dipompa yang pendinginannya mengarah ke kondensor melalui tangki diskusi pompa, refrigeran ini dialirkan melalui lingkungan tabung kondensor. Temperatur hasil proses kondensasi adalah  $42,79^{\circ}\text{C}$  yang selanjutnya digunakan sebagai air umpan evaporator. Fungsi kedua kondensor adalah memisahkan cairan dan uap dari tabung sehingga temperaturnya mendekati temperatur ruangan.



**Gambar 2.7** Diagram alir kondensor

(Sumber : Senja, M., Senja, M., & lengkapku, L. 2015).

#### 4. Generator

Generator adalah komponen untuk menghasilkan listrik. Rotor terhubung dengan poros turbin dan berputar bersama-sama. Pada generator, kumparan stator menghasilkan arus listrik keluaran. Arus searah mengalir melalui brush gear yang langsung berhubungan dengan slip ring yang terpasang pada rotor, sehingga menciptakan medan magnet. Ketika rotor berputar, medan magnet ini memotong kumparan pada stator dan menghasilkan tegangan listrik. Dengan adanya pergerakan mekanis pada rotor, kontak dengan stator terjadi dan menghasilkan panas, sehingga diperlukan sistem pendinginan. (Gaos, M. M. Y. 2020).

##### a) Sistem Pendinginan Stator

Generator listrik yang menggunakan pendingin hidrogen yang lebih besar sering memiliki sistem pendinginan terpisah untuk mendinginkan statornya. Batang-batang stator dalam generator membawa arus listrik keluaran. Aliran arus yang melalui batang-batang ini menciptakan panas yang penting. Alternator yang besar sering memiliki sistem pendinginan tambahan menggunakan air untuk batang-batang stator. Batang stator biasanya terdiri dari beberapa konduktor berlubang. Aliran air melalui konduktor tersebut membawa panas yang diciptakan oleh arus mengalir melalui batang.

##### b) Sistem Pendinginan Rotor

Pada pembangkit listrik besar umumnya menggunakan pendinginan hidrogen karena lebih efektif dalam menghilangkan panas dalam jumlah besar dibandingkan dengan pendinginan udara. Proses pendinginan ini dilakukan dengan menyalurkan hidrogen di sekitar komponen-komponen yang panas pada rotor generator. Generator menggunakan sistem pendinginan hidrogen untuk menjaga suhu kerja yang optimal.



**Gambar 2.8** Generator unit 1 dan 2 di PLTU Tanjung Jati B

## B. Peralatan Penunjang

Peralatan pendukung yang umumnya ada di PLTU meliputi:

### 1. Desalination Plant (Unit Desal)

Perlengkapan ini berperan buat mengganti air laut jadi air tawar memakai tata cara penyulingan. Perihal ini dicoba sebab air laut mempunyai watak korosif yang bisa mengganggu perlengkapan PLTU bila langsung digunakan di unit utama.

### 2. Reverse Osmosis (RO)

Perlengkapan ini pula digunakan pada unit dengan sumber air tanah ataupun sungai buat melenyapkan endapan, kotoran, serta mineral dalam air.

### 3. Demineralizer Plant (Unit Demin)

Berperan buat melenyapkan mineral (ion) dalam air tawar. Air yang digunakan dalam PLTU wajib leluasa mineral sebab mineral dalam air bisa menimbulkan konduktivitas yang besar serta menyebabkan korosi pada perlengkapan PLTU.

### 4. Hidrogen Plant (Unit Hidrogen)

Diaplikasikan buat menciptakan hidrogen yang digunakan selaku pendingin pada generator PLTU.

### 5. Chlorination Plant (Unit Chlorin)

Berperan buat menciptakan senyawa natrium hipoklorit yang dipakai buat melenyapkan mikroorganisme pada zona water intake. Perihal ini dicoba buat

menghindari kehancuran pada pipa kondensor serta unit desal dampak berkembangbiakan mikroorganisme laut.

#### 6. Auxiliary Boiler (Boiler Bantu)

Ketel uap yang digunakan buat menciptakan uap selaku uap bantu pada dikala start up ataupun selaku suplai bonus

#### 7. Coal Handling (Unit Pelayanan Batubara)

Unit yang mengelola proses pengolahan batubara dari proses bongkar memuat kapal di dermaga sampai distribusi ke bunker unit.

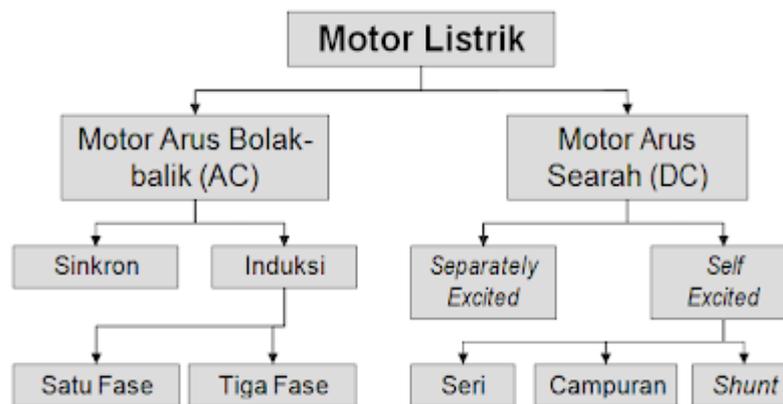
#### 8. Ash Handling (Unit Pelayanan Abu)

Unit yang bertanggung jawab buat mengelola pengolahan abu, baik itu abu jatuh (bottom ash) ataupun abu terbang (fly ash) dari Electrostatic Precipitator hopper serta Submerged Drag Chain Conveyor sampai tempat penadahan abu.

Tiap bagian utama serta perlengkapan pendukung dilengkapi dengan sistem serta perlengkapan bantu yang menunjang operasinya. Bila terjalin kendala ataupun kehancuran pada salah satu komponen utama, bisa mengusik totalitas sistem PLTU.

### 2.5. Generator

Alternator yaitu mesin yang digunakan untuk mengkonversi tenaga gerak menjadi tenaga listrik. Pembangkitan tenaga listrik didapatkan dengan menerima tenaga mekanis dan mengubahnya menjadi tenaga listrik. Alternator biasanya dibagi dua macam, yaitu alternator AC serta alternator DC, tergantung dari arus yang dibangkitkan. Selain itu, generator juga dapat dibagi berdasarkan putaran medannya menjadi alternator sinkron serta alternator asinkron. (Suwanto, F. R. 2018).



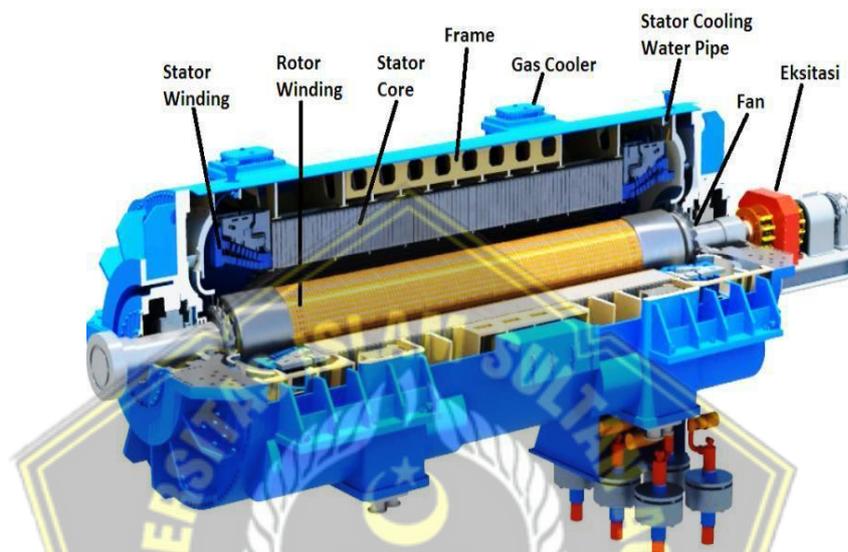
**Gambar 2.9** Macam-macam motor listrik

(Sumber : <https://www.jasalistrik.com>)

Generator sinkron adalah motor listrik AC yang mengonversikan daya mekanik menjadi daya listrik AC. Daya mekanik didapatkan melalui penggerak khusus yang dihubungkan dengan rotor generator, sebaliknya daya listrik diperoleh dengan induksi elektromagnetik yang menyatukan koil rotor dengan koil stator. Generator sinkron disebut demikian karena rotor berputar dengan kecepatan yang sinkron atau sama dengan kecepatan medan magnet putar. Generator sinkron dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk rotor yang digunakan, yaitu generator turbo atau generator rotor silinder dan generator pole menonjol. Generator sinkron umumnya digunakan dalam pembangkit listrik besar dan beroperasi pada kecepatan tinggi yang terhubung dengan turbin gas atau uap. Sementara itu, generator pole menonjol biasanya digunakan untuk pembangkit listrik kecil hingga menengah. (Suwanto, F. R. 2018).

Dalam generator sinkron, arus mengalir melalui kumparan rotor yang kemudian menciptakan medan magnet rotor. Rotor dari generator diputar oleh penggerak primer, menciptakan medan magnet putar di dalam mesin. Di stator generator, terdapat kumparan yang terlibat dalam proses pembangkitan energi listrik. Medan magnet putar dari rotor menghasilkan medan magnet yang mengelilingi kumparan stator secara terus-menerus, sehingga energi mekanik dapat diubah menjadi energi listrik. (Suwanto, F. R. 2018).

Biasanya, generator sinkron terdiri atas dua elemen penting, stator serta rotor. Stator yaitu komponen stasioner dari generator sinkron serta tempat tegangan induksi dihasilkan. Sebaliknya rotor merupakan komponen dari generator sinkron yang berputar serta menyalurkan arus searah melewati kumparannya. (Siburian, 2022)



**Gambar 2.10** Kontruksi Generator AC

(Sumber : Pujiyanto, L. 2020).

Buat menciptakan medan magnet konstan, kumparan medan disuplai dengan arus DC, yang disebut arus eksitasi. Gulungan medan bisa ditempatkan di stator generator berdaya rendah ataupun di rotor generator berdaya besar memakai slip ring. (Siburian, 2022)

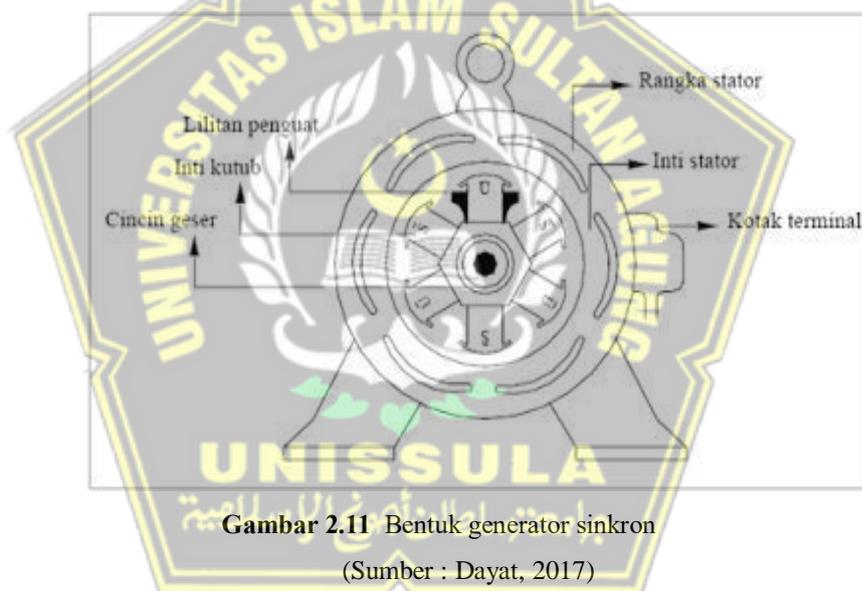
Generator sinkron bekerja dengan mengganti tenaga mekanik jadi tenaga listrik lewat induksi medan magnet. Gerakan relatif antara medan magnet serta kumparan generator menimbulkan pergantian tenaga ini. Generator bekerja bersumber pada prinsip induksi elektromagnetik. Kala rotor generator berbalik dengan kecepatan konstan, tegangan diinduksi pada belitan jangkar stator karena fluks magnet yang dihasilkan oleh arus yang menarik di belitan medan rotor. Tegangan induksi ini meningkat dengan meningkatnya arus magnetisasi sampai saturasi tercapai di inti rotor. Ketika terminal rotor terhubung ke beban, arus mengalir melalui belitan angker stator, mentransfer arus dari generator ke beban. Pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), generator dihubungkan

langsung dengan turbin uap serta menciptakan tegangan dikala turbin.(Wildani, Syarifuddin and Thaha, 2021)

Alternator diucap generator sinkron sebab jumlah putaran rotor serta jumlah putaran medan magnet stator sama. Alternator ini menciptakan arus bolak-balik (AC) serta umumnya digunakan buat menciptakan listrik AC satu fasa ataupun 3 fasa. (Wulandary, 2014).

### 2.5.1 Konstruksi Generator Sinkron

Generator sinkron mengubah energi mekanik elektromagnetik arus bolak-balik menjadi energi listrik dengan memutar rotor menggunakan penggerak utama, yang dihasilkan melalui proses induksi elektromagnetik yang terjadi di dalam kumparan stator.



**Gambar 2.11** Bentuk generator sinkron

(Sumber : Dayat, 2017)

Pada dasarnya generator sinkron terdiri dari stator yang berputar, rotor dan celah udara. Celah udara mewakili ruang antara stator dan rotor dan bagian ini memberikan gambaran tentang desain generator sinkron. Bagian ini menjelaskan bagian dari generator yang terdiri dari stator dan rotor.. (Lister, 1988)

#### A. Stator

Stator merupakan komponen penting mesin yang tidak berputar. Stator merupakan bingkai laminasi yang terbuat dari besi cor maupun kombinasi aluminium cor. Stator mempunyai struktur celah sempit dengan gigi sejajar.

Slot pada stator berguna menjadi tempat buat kumparan utama serta pelengkap. Slot ini ditempatkan di rangka besi. (Nugroho, D. A. 2018).

Fluks magnet yang beralih pada stator menginduksi rotor, mengakibatkan rotor berotasi dengan medan magnet putar stator. Rotor serta stator berputar dengan kelajuan yang berlainan. Rasio antara kelajuan stator dan kelajuan rotor disebut slip. Stator generator bisa dibagi menjadi beberapa bagian, antara lain:

1. Rangka stator (rangka)
2. Inti kutub magnet serta belitan penguat magnet
3. Sikat



**Gambar 2.12** Konstruksi stator generator AC

(Sumber : Pujiyanto, L. 2020).

Stator adalah komponen tetap (statis), gulungan kawat yang ditempatkan di slot dalam inti besi yang disebut belitan angker. Konduktor ini adalah tempat pembentukan gaya gerak listrik induksi, yang terjadi ketika medan magnet putar rotor melewati kumparan konduktif stator. Stator mesin sinkron terbuat dari bahan feromagnetik berlapis untuk mengurangi kerugian arus eddy. (Nugroho, D. A. 2018).

Stator terbagi beberapa komponen utama yaitu :

- 1) Rangka stator adalah rangka yang menopang inti angker generator.
- 2) Inti stator tersusun dari baja paduan laminasi khusus atau besi magnet dan melekat pada rangka stator.
- 3) Alur (slot) dan gigi

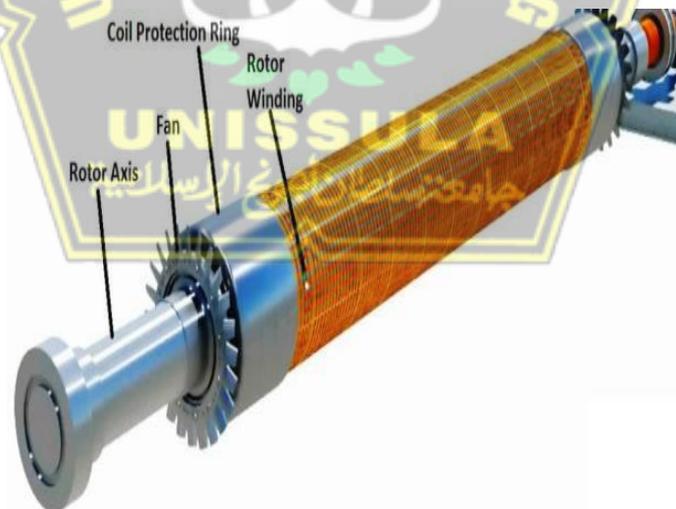
Kumparan stator ditempatkan di slot dan gigi. Slot stator hadir dalam tiga gaya: terbuka, setengah terbuka, dan tertutup.

#### 4) Kumparan stator (koil anker)

Kumparan anker biasanya terbuat dari tembaga dan di dalam kumparan inilah gaya gerak listrik induksi dihasilkan.

### B. Rotor

Rotor adalah komponen yang bergerak maupun berotasi. Komponen ini terdiri atas inti rotor, kumparan rotor serta plot rotor. Rotor generator diputar dengan penggerak khusus guna menciptakan medan magnet bolak-balik di motor. Medan magnet yang berotasi ini menginduksi tegangan pada koil stator generator. Rotor dalam generator sinkron pada dasarnya merupakan elektromagnet besar. Ada dua macam sistem medan pada generator sinkron: tipe menonjol serta tipe tabung. Generator berkecepatan rendah, seperti yang ditenagai dengan mesin diesel ataupun turbin air, mempunyai rotor dengan kutub medan yang menonjol atau kutub medan sepatu. (Nugroho, D. A. 2018).



**Gambar 2.13** Konstruksi rotor generator AC

(Sumber : Pujiyanto, L. 2020).

komponen utama rotor yaitu :

1) Cincin Slip

Cincin slip yaitu cincin logam yang melingkari sumbu rotor tetapi terpisah dari isolator. Cincin slip berfungsi membagikan koneksi arus listrik dari armature ke sirkuit beban generator.

2) Kumparan rotor (kumparan medan)

Kumparan medan adalah elemen berperan penting yang menciptakan medan magnet. Kumparan ini menerima arus DC dari sumber eksitasi tertentu

3) Poros rotor

Sumbu rotor menampung kumparan medan dan memiliki slot yang sejajar dengan poros rotor.

### 2.5.2 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Prinsip kerja generator yaitu :

- a. Kumparan medan di dalam rotor disambungkan ke pusat eksitasi yang memasok arus DC ke kumparan medan. Arus searah yang bergerak lewat koil eksitasi menciptakan fluks magnet konstan dari waktu ke waktu.
- b. Penggerak utama yang digabungkan ke rotor akan segera menyala dan rotor berotasi dengan kelajuan terukur.
- c. Saat rotor berputar, medan magnet yang diciptakan oleh lilitan medan juga ikut berputar. Medan magnet berputar yang dihasilkan dalam rotor diinduksi dalam lilitan angker, menghasilkan fluks magnet yang bervariasi terhadap waktu dalam kumparan angker stator.

Ketika fluks magnet di sekitar kumparan berubah, gaya gerak listrik induksi dihasilkan dalam kumparan. Sebuah alternator sinkron tiga fasa menggunakan tiga kumparan jangkar yang disusun dengan cara tertentu pada stator, susunan tersebut menghasilkan induksi yang sama pada tiga kumparan jangkar. Beda fasa  $120^\circ$  satu sama lain. Tiga terminal kumparan angker kemudian digerakkan guna menciptakan daya listrik. (Lister, 1988)

Generator sinkron (synchronous generator) menciptakan listrik berdasarkan hukum Faraday. Hukum Faraday menyatakan bahwa “ jika

jumlah fluks magnet yang memasuki suatu kumparan berubah, maka pada ujung-ujung kumparan akan timbul GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi. Aliran fluks magnet yang mengalir pada kumparan biasanya disebut aliran arus, sementara itu GGL induksi yang berubah-ubah pada ujung-ujung kumparan sebagai tegangan. Untuk membangkitkan gaya gerak listrik (GGL), dibutuhkan penggerak utama serta arus masukan ( $I_f$ ) berbentuk arus searah (DC), yang menciptakan medan magnet yang mudah diatur. (Ahmat, S.2022).

Hukum Faraday bisa dinyatakan dengan rumus dibawah ini :

$$\varepsilon = N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

$\varepsilon$  = GGL induksi yang dibangkitkan (volt)

$N$  = Banyaknya jumlah lilitan

$d\phi$  = Perubahan fluks magnetik (Webber)

$dt$  = Perubahan waktu (detik)

Konversi energi elektromagnetik terjadi ketika fluks magnet diubah oleh gerakan mekanis. Pada mesin yang berputar, tegangan dihasilkan dalam sebuah kumparan atau kelompok kumparan dengan memutar belitan secara magnetis melalui medan magnet atau dengan membangun sirkuit magnet sedemikian rupa sehingga nilai keengganan berubah dengan putaran rotor. Oleh sebab itu, fluks magnet yang terpaut dengan kumparan tertentu berganti kesekian kali, menciptakan beda potensial berubah-ubah terhadap waktu. (Yusniati, Y., & Matondang, N. N. S. 2020)

Medan magnet dihasilkan oleh kumparan atau magnet permanen yang melalui arus searah mengalir. Pada jenis mesin ini, medan magnet dialirkan ke stator dan energi listrik dihasilkan di belitan rotor dan didistribusikan melalui cincin selip dan sikat karbon. Hal ini dapat merusak cincin selip dan sikat karbon serta menyebabkan masalah kinerja. Untuk mengatasi masalah ini, generator kutub dalam digunakan. Pada generator ini, kutub magnet rotor menghasilkan medan magnet yang menghasilkan tegangan bolak-balik pada

rangkaian stator. Ketika rotor generator berputar pada kecepatan pengenalnya karena rotasi penggerak utama, arus  $I_f$  disuplai ke kumparan medan rotor, menghasilkan tegangan induksi karena garis fluks melewati kutub inti. Kumparan angker stator :

$$E = C.n.\phi \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

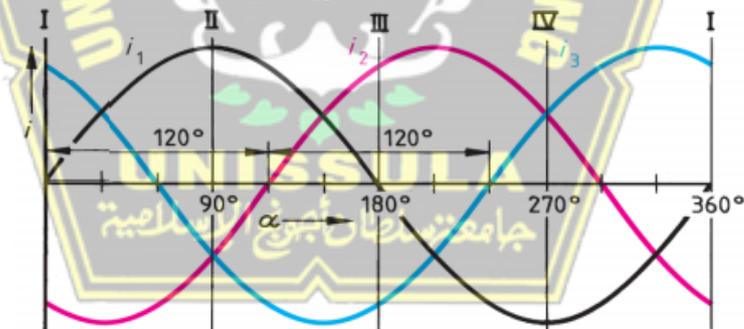
$E$  = Tegangan yang di induksikan (Volt)

$C$  = Konstata generator

$n$  = Kecepatan putar (rpm)

$\phi$  = Fluks yang dihasilkan arus penguat (Weber)

Dalam sebuah alternator, Jika kerapatan fluks magnet di celah udara generator tersebar secara sinusoidal serta rotor berputar dengan kelajuan konsisten, tegangan yang dihasilkan akan berbentuk sinusoidal. Tegangan bolak-balik tiga fase dihasilkan oleh mesin sinkron kutub ini dihasilkan oleh tiga kumparan stator yang dirancang untuk membentuk perbedaan fasa  $120^\circ$ . Gambarnya sebagai berikut :



**Gambar 2.14** Gambaran Sederhana Perbedaan Gelombang Sinus Yang Berbeda 120 Derajat Listrik

(Sumber : Kusumandaru, 2015).

### 2.5.3. Pengaturan Generator

Ketika beban ditambahkan ke generator AC yang bekerja pada kelajuan konstan dan dengan medan eksitasi konstan, tegangan pada terminal berubah. Besar perubahan tegangan tergantung pada desain mesin dan faktor beban. Pengaruh dari faktor beban yang berbeda terhadap perubahan tegangan terminal pada generator AC. Pengaturan generator AC

didefinisikan sebagai persentase peningkatan tegangan terminal ketika beban dikurangi dari arus beban penuh hingga nol, dengan kecepatan dan medan eksitasi yang konstan. Persentase pengaturan (pada faktor beban tertentu) dapat dihitung sebagai: tegangan tanpa beban dibagi tegangan beban penuh, kemudian dikalikan dengan 100. (Usman, A. (2020).

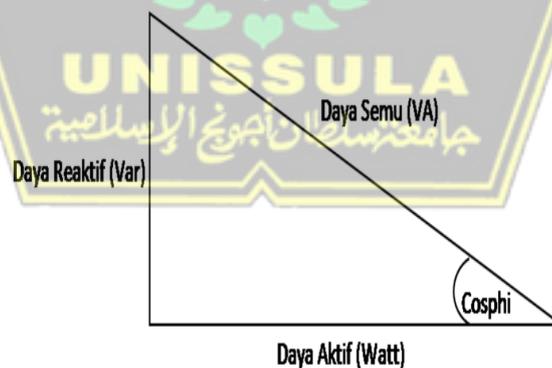
Beberapa aspek yang mempengaruhi pengaturan generator antara lain:

1. Penurunan tegangan IR.
2. Penurunan tegangan IXL pada lilitan jangkar.
3. Reaksi jangkar (pengaruh magnetisasi dari arus jangkar).

#### 2.5.4 Daya Generator

Daya didefinisikan selaku aliran tenaga listrik per satuan waktu pada sesuatu titik dalam jaringan. Energi memakai satuan watt ataupun joule per detik, merupakan dimensi tenaga listrik yang dihasilkan oleh generator serta disantap oleh konsumen listrik. (Rimbawati, Harahap and Putra, 2019)

Segitiga daya merupakan konsep yang bermanfaat buat menguasai ikatan antara tegangan, arus, serta hambatan. Energi semu dimaksud selaku energi total dari kapasitas energi maksimum generator, ataupun penjumlahan energi aktif serta reaktif. (Nurdin, Azis and Rozal, 2018)



**Gambar 2.15** Segitiga daya

(Sumber : Rakhman, 2023 )

Dimana :

$\phi$  = Sudut daya reaktif dan daya total

$\text{Cos } \phi$  = Faktor daya (Power Factor)

### 1. Daya Semu (S)

Energi semu merupakan energi yang dipasok oleh sumber listrik arus bolak-balik (AC) ataupun energi yang diserap oleh beban. Satuan energi semu merupakan volt-ampere (VA). Di dasar ini merupakan persamaan energi semu :

$$S_{1\phi} = V_{LN} \times I \text{ (VA) (satu fasa) .....(2.3)}$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I \text{ (VA) (tiga fasa) .....(2.4)}$$

$$\text{Atau } S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ .....(2.5)}$$

Dimana :

$V_{LN}$  = Tegangan Line to Netral (V)

$V_{LL}$  = Tegangan Line to Line (V)

I = Arus (A)

P = Daya Aktif

Q = Daya Reaktif

### 2. Daya Aktif

Energi aktif, kerap diucap selaku energi aktif, didetetapkan dalam watt serta ialah energi yang digunakan buat menciptakan tenaga aktif. Energi aktual merupakan energi rata-rata yang cocok dengan energi yang sesungguhnya disuplai ataupun diserap oleh beban. Contoh tenaga berwujud merupakan tenaga termal, tenaga mekanik, serta sinar yang biasa digunakan oleh konsumen selaku unit yang bisa dimanfaatkan selaku tenaga listrik serta diganti jadi usaha. Dimana pada sesi komputasi, ialah :

$$P_{1\phi} = V_{LN} \times I \times \text{Cos}\phi \text{ (satu fasa) .....(2.6)}$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I \times \text{Cos}\phi \text{ (tiga fasa) .....(2.7)}$$

Dimana :

P = Daya aktif (Watt)

$V_{LN}$  = Tegangan Line to Netral (V)

$V_{LL}$  = Tegangan Line to Line (V)

I = Arus (Ampere)

$\text{Cos}\phi$  = Faktor daya

### 3. Daya Reaktif (Q)

Energi reaktif yaitu energi yang dihasilkan dari bagian reaktif, pula diketahui selaku energi yang dibutuhkan buat menciptakan medan magnet. Arus magnet dihasilkan oleh pembuatan medan magnet. Contoh tenaga yang menciptakan energi reaktif antara lain transformator, motor, serta bola lampu. Dalam perhitungan phasa ialah :

$$Q_{1\phi} = V_{LN} \times I \times \sin\phi \text{ (satu fasa) } \dots\dots\dots(2.8)$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I \times \sin\phi \text{ (tiga fasa) } \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

Q = Daya reaktif (VAR)

$V_{LN}$  = Tegangan Line to Netral (V)

$V_{LL}$  = Tegangan Line to Line (V)

I = Arus (Ampere)

#### 2.5.5 Rugi – Rugi Daya Generator

##### 1. Rugi tembaga

Rugi tembaga terbentuk atas kumparan stator serta rotor. Rugi tembaga generator diakibatkan oleh Cu jangkar, Cu shunt, serta seri Cu.

$$P_{cu,s} = 3 \cdot I_A^2 \cdot R_A \dots\dots\dots(2.10)$$

$$P_{cu,r} = I_f^2 \cdot R_f \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

$P_{cu,s}$  : Rugi tembaga pada stator (W)

$P_{cu,r}$  : Rugi tembaga pada rotor (W)

$I_a$  : Arus pada stator (A)

$R_a$  : Tahanan pada stator (ohm)

$I_f$  : Arus pada rotor (A)

$R_f$  : Tahanan pada rotor (ohm)

##### 2. Rugi Besi

Besar rugi besi dalam range 20 sampai 30% dari rugi total pada beban penuh, disebabkan keadaan generator memikul dikala beban penuh 100%, maka dipilihnya 30%.(Refaldi, Basir and Wardhani, 2022), (Sulasno, 2009), (Rijono, 2002),(Noer, 2017)

$$\text{Rugi beban penuh} = \frac{\text{Rugi tembaga}}{30\%} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$P_b (\text{Rugi Besi}) = 30\% \times \text{Rugi beban penuh} \dots\dots\dots(2.13)$$

### 3. Rugi mekanik (mechanical losses)

Rugi-rugi mekanis pada mesin AC ialah rugi-rugi akibat pengaruh mekanis. Kerugian mekanis serta inti pada motor kerap disatukan serta diucap kerugian putaran ideal mesin. (SEPTIYAN, Waruni K and Sugeng, 2019). Kerugian mekanis generator yang diakibatkan oleh mesin yang berbalik semacam kehabisan gosok kehabisan bantalan, kehabisan angin serta gesekan.

$$P_{\text{mech}} = 0,01 \times P_{\text{in}} (\text{prime mover}) \dots\dots\dots(2.14)$$

$P_{\text{mech}}$  = rugi-rugi mekanikal

0,01 = 1.0 persen yang diambil dari beban penuh.

$P_{\text{in}}$  = daya masukan dari prime mover.

$$\Sigma \text{Rugi Total} = \text{Rugi Tembaga} + \text{Rugi Mekanik} + \text{Rugi Besi}$$

### 2.5.6 Efisiensi Generator

Efisiensi adalah ketepatan cara (usaha, kerja) dalam menjalankan sesuatu (dengan tidak membuang waktu, tenaga, biaya) atau kemampuan menjalankan tugas dengan baik dan tepat (dengan tidak membuang waktu, tenaga, biaya). (Setiawan, E.2023). Perhitungan efisiensi alternator terdiri dari menyamakan energi output generator dengan energi input generator sesuai dengan rumus :

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + \Sigma \text{Rugi} - \text{Rugi}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

$\eta_{\text{gen}}$  : Efisiensi generator (%)

$P_{\text{Out}}$  : Daya Output (MW)

$P_{\text{In}}$  : Daya Input (MW)

$\Sigma \text{Rugi} - \text{rugi}$  : Total rugi-rugi generator (W)

Dari pembahasan di atas, harus diperiksa faktor yang mengakibatkan efisiensi selalu kurang dari 100%. Oleh karena itu perlu ditemukan rugi daya yang terjadi pada saat alternator sedang berjalan.

1. Rugi-rugi pada belitan generator disebut rugi-rugi listrik.
2. Rugi daya secara langsung disebabkan oleh putaran generator yang disebut kerugian rotasi.

Ada dua jenis kerugian putaran:

- a) Kerusakan mekanis yang disebabkan oleh rotasi.
- b) Hilangnya inti besi disebabkan oleh kecepatan putar dan arus medan magnet.

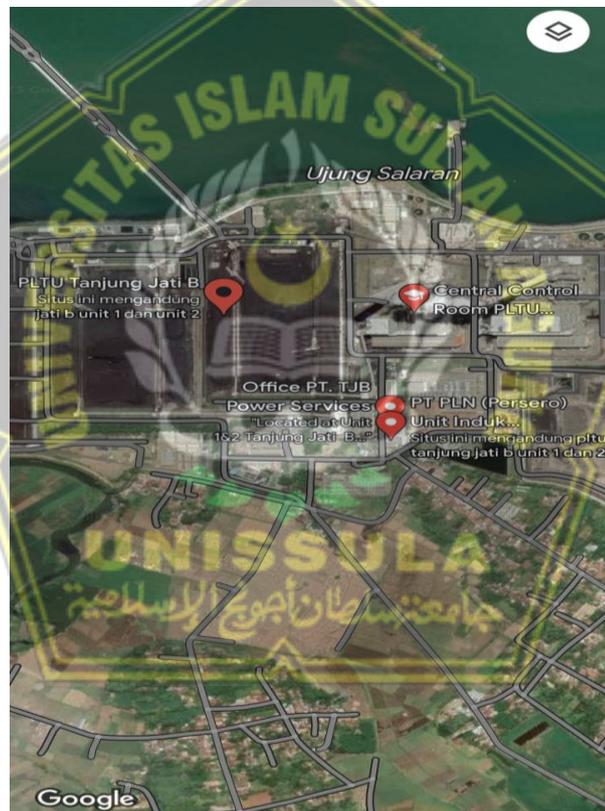


## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1. Obyek Penelitian

Penulis melakukan penelitian dimulai sejak tanggal 1 Februari 2023 – 24 Februari 2023. Tempat pelaksanaan penelitian dilaksanakan di PLTU Tanjung Jati B unit 1 & 2 berkapasitas 2 x 660 MW yang terletak di Desa Tubanan, Kecamatan Kembang, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. Berikut merupakan lokasi penelitian diambil menggunakan maps dari foto satelit.



**Gambar 3.1** Lokasi PLTU Tanjung Jati B unit 1 dan 2

## **3.2. Data Penelitian**

### **3.2.1 Metode pengumpulan data**

#### **1. Observasi**

Metode ini dalam akumulasi data melibatkan banyak faktor dalam pelaksanaannya. Peneliti melakukan wawancara langsung dengan Teknisi yang bekerja di PT. TJBPS dalam proses pengambilan data. Metode ini dilakukan supaya memperoleh data yang valid sesuai dengan kejadian dilapangan. Data valid yang dipakai pada riset ini yaitu data yang menjadi parameter untuk menghitung efisiensi generator unit 1 dan 2

#### **2. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data didapatkan langsung dari tempat penelitian yang bersumber dari name plate, manual book dan beberapa dari hasil performance test yang dilakukan PT. TJBPS, Beberapa parameter yang diperlukan adalah spesifikasi generator, arus generator, faktor daya, arus eksitasi dan daya keluaran generator. Data spesifikasi generator didapatkan dari name plate yang terletak pada generator tersebut dan juga dilengkapi dari sumber manual book. Untuk loghsheet generator didapatkan dari hasil performance di CCR. Sedangkan data beban pada riset ini yaitu data yang dipakai pada saat performance test

#### **3. Metode Tanya Jawab**

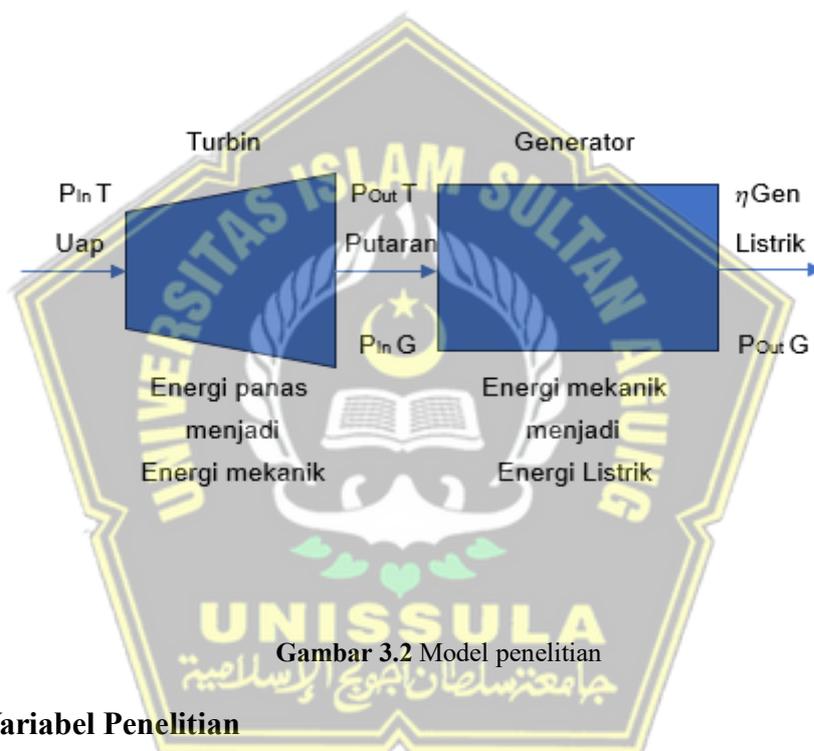
Pendekatan bisa dicapai dengan cara wawancara secara langsung pada pemangku kepentingan di PT. TJBPS seperti Supervisor, Enggineer, dan pembimbing lapangan. Wawancara tersebut untuk mencari informasi terkait penelitian yang akan dilakukan tentang efisiensi generator.

#### **4. Metode Studi Literatur**

Metode yang diterapkan supaya memperoleh pengetahuan yang didapatkan dari berbagai sumber, mulai dari buku dan jurnal penelitian. Sumber diperoleh dapat dari Manual Book generator yang digunakan dalam penelitian serta berbagai jurnal untuk menunjang penelitian yang akan dilakukan terhadap efisiensi generator. Adapun hasil yang diperoleh penulis melalui studi literatur ini, terdapat pada tinjauan pustaka dan dasar teori.

### 3.3. Model Penelitian

Dalam riset ini menggunakan metode kuantitatif yang berfokus pada penggunaan data numerik dalam analisisnya. Riset ini yaitu riset deskriptif kuantitatif yang bertujuan guna mendeskripsikan suatu fenomena secara sistematis dan akurat. Tujuan pembuatan riset ini adalah mengamati pengaruh beban generator terhadap efisiensi generator di PLTU Tanjung Jati unit 1 & 2. Dari hasil penelitian, didapatkan bahwa nilai efisiensi generator unit 1 & 2 bervariasi pada tiap tanggal pengukuran.



#### 3.3.1 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yaitu properti, aktivitas yang menunjukkan perbedaan spesifik yang telah ditetapkan peneliti guna mempelajari serta menarik kesimpulan darinya.

A. Variabel terikat :

- Nilai efisiensi generator
- Nilai rugi-rugi generator

B. Variabel bebas :

- Informasi operasional, ialah informasi parameter yang ditampilkan pada layar DCS ruangan Central Control Room

- Pergantian kapasitas beban, ialah Pergantian naik turunnya beban generator selama PLTU bekerja. Informasi pergantian kapasitas beban diperoleh sehabis melaksanakan peninjauan.

### 3.3.2 Teknik Pemrosesan Data

#### 1. Tahap Persiapan

- Pembentukan alat pengumpulan data
- Pelajari metode mengambil data dengan baik dari layar Distributed Control System (DCS) di ruang Central Control Room (CCR)
- Menguasai serta mematuhi SOP pengumpulan informasi sesuai peraturan industri

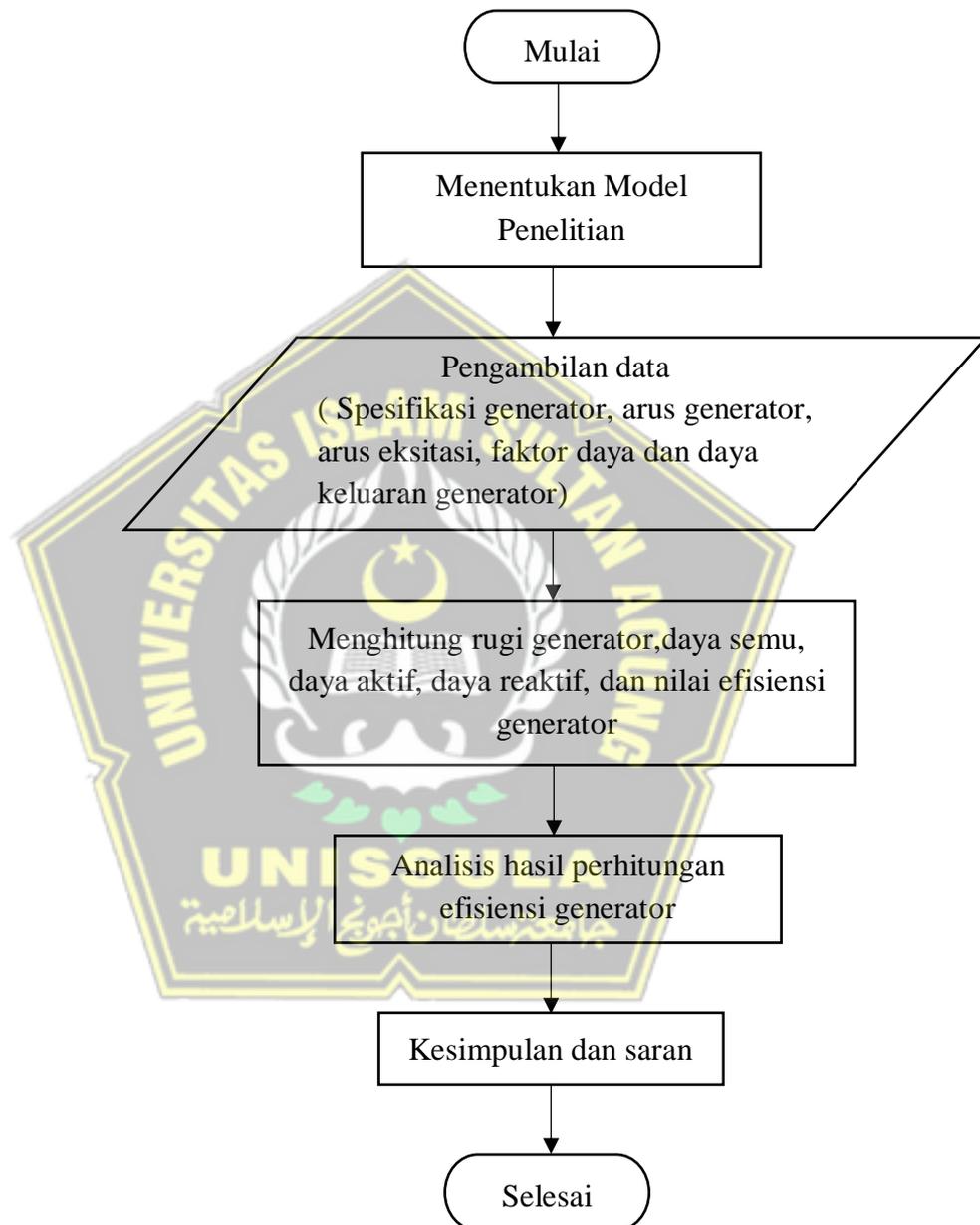
#### 2. Tahap pengumpulan data

Tahap pengumpulan data sebagai berikut :

1. Temukan informasi energi input generator. Data yang digunakan dalam riset ini diperoleh dari bermacam pemangku kepentingan ialah Central Control Room (CCR) serta regu engineering
2. Mencari data keluaran generator ( daya)
3. Melakukan perhitungan untuk mencari nilai efisiensi generator menggunakan metode kuantitatif dikarenakan data yang di dapat adalah data dalam bentuk angka dengan menggunakan perhitungan matematis.
4. Menganalisis hasil efisiensi generator unit 1 dan 2
5. Menarik kesimpulan dari hasil analisis penelitian

### 3.4. Bagan Alur Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan untuk menyusun tugas akhir dapat dilihat pada diagram alir/flowcart dibawah ini :



Gambar 3.3. Flowcart Penelitian

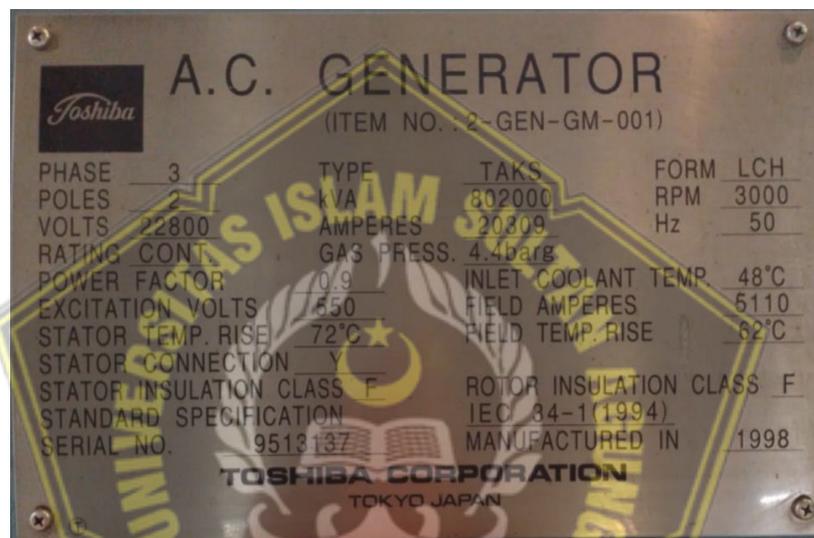
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Data

Selama penelitian penulis memperoleh beberapa data dari tanggal 1-10 februari 2023, diantaranya :

##### 4.1.1 Data spesifikasi generator



Gambar 4.1. Name plate generator PLTU Tanjung Jati B unit 1 dan 2

Tabel 4.1. Spesifikasi Generator

Manufaktur	TOSHIBA CORPORATION
Tipe	TAKS
kVA	802000 kVA
Tegangan	22800 V
Field Amperes	5110 A
Phase	3
Power Factor	0,9
Frekuensi	50 Hz
Tegangan ekitasi	550 V
Rpm	3000

Amperes	20309 A
Resistansi stator	0,00166 $\Omega$
Resistansi rotor	0,0914 $\Omega$

#### 4.1.2. Data Logsheets Generator

Berdasarkan data hasil monitoring tanggal 1 – 10 Februari 2023 diketahui parameter-parameter generator di tabel 4.2

Tabel 4.2 Data logsheet generator unit 1

Data	Pout Generator (MW)	Arus Eksitasi (A)	Arus Generator (A)	Tegangan (kV)	Cos $\phi$
1/2/2023	625,69	3715,25	16.510	22,25	0,99
2/2/2023	633,75	3740,44	16.780	22,14	0,99
3/2/2023	647,13	3829,36	17.140	22,19	0,99
4/2/2023	653,66	3862,66	17.320	22,18	0,98
5/2/2023	644,99	3757,59	17.130	22,01	0,99
6/2/2023	650,69	3869,52	17.190	22,29	0,98
7/2/2023	653,00	3819,67	17.150	22,32	0,99
8/2/2023	653,33	3809,52	17.210	22,24	0,99
9/2/2023	679,49	4010,39	17.940	22,33	0,98
10/2/2023	626,33	3753,28	16.510	22,34	0,98

Tabel 4.3. Data logsheet generator unit 2

Data	Pout Generator (MW)	Arus Eksitasi (A)	Arus Generator (A)	Tegangan (kV)	Cos $\phi$
1/2/2023	644,30	3957,14	17.030	22,32	0,98
2/2/2023	592,42	3713,96	15.690	22,21	0,98
3/2/2023	648,61	3992,20	17.210	22,25	0,98

4/2/2023	545,64	3520,67	14.490	22,19	0,98
5/2/2023	649,87	3920,97	17.300	22,05	0,99
6/2/2023	649,82	4032,20	17.200	22,36	0,98
7/2/2023	654,64	3994,69	17.230	22,40	0,98
8/2/2023	656,68	3994,33	17.330	22,32	0,98
9/2/2023	679,11	4178,42	17.970	22,40	0,98
10/2/2023	649,49	4025,02	17.160	22,42	0,98

#### 4.2. Perhitungan Rugi-Rugi Generator

Efisiensi generator ( $\eta_G$ ) dapat diketahui dengan menghitung besarnya rugi daya terlebih dahulu. Berikut contoh perhitungan rugi-rugi generator unit 1 pada sampel data hari pertama Kamis 1 Februari 2023. Dengan perhitungan Rugi daya pada stator ( $P_{cu,s}$ ), Rugi daya rotor ( $P_{cu,r}$ ), Rugi mekanik dan Rugi besi dapat dihitung sebagai berikut

1. Rugi Stator

$$P_{cu,s} = 3 \cdot I_A^2 \cdot R_A \dots \dots \dots (2.10)$$

$$P_{cu,s} = 3 \times (16510)^2 \cdot 0,00166$$

$$P_{cu,s} = 3 \times 272.580.100 \cdot 0,00166$$

$$P_{cu,s} = 1,35 \text{ MW}$$

2. Rugi Rotor

$$P_{cu,r} = I_f^2 \cdot R_f \dots \dots \dots (2.11)$$

$$P_{cu,r} = (3715,25)^2 \times 0,0914$$

$$P_{cu,r} = 1,26 \text{ MW}$$

3. Rugi beban penuh =  $\frac{\text{Rugi tembaga}}{30\%} = \frac{2,61}{0,3} = 8,7 \text{ MW} \dots \dots \dots (2.12)$

2. Rugi Besi = 30% x Rugi beban penuh  $\dots \dots \dots (2.13)$

$$= 0,3 \times 8,7$$

$$= 2,61 \text{ MW}$$

3. Rugi mekanik = 0,01 x Pin (prime mover)  $\dots \dots \dots (2.14)$

$$= 0,01 \times 625,69$$

$$= 6,25 \text{ MW}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rugi total} &= (\text{Rugi tembaga} + \text{Rugi besi} + \text{Rugi mekanik}) \\
 &= (1,35 \text{ MW} + 1,26 \text{ MW} + 2,61 \text{ MW} + 6,25 \text{ MW}) \\
 &= 11,49 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Perhitungan analisis hilang daya pada generator sinkron terdiri dari perhitungan hilangnya daya dari rugi tembaga, besi dan mekanik. Seluruh data rugi generator unit 1 dan 2 sebagai berikut :

Tabel 4.4 Total Rugi-rugi pada generator unit 1

Data	Rugi Stator (MW)	Rugi Rotor (MW)	Rugi Besi (MW)	Rugi Mekanik (MW)	Total Rugi-rugi (MW)
1/2/2023	1,35	1,26	2,61	6,25	11,49
2/2/2023	1,40	1,27	2,67	6,33	11,69
3/2/2023	1,46	1,34	2,80	6,47	12,07
4/2/2023	1,49	1,36	2,85	6,53	12,25
5/2/2023	1,46	1,29	2,75	6,44	11,95
6/2/2023	1,47	1,36	2,84	6,50	12,18
7/2/2023	1,46	1,33	2,79	6,53	12,12
8/2/2023	1,47	1,32	2,80	6,53	12,13
9/2/2023	1,60	1,47	3,07	6,79	12,94
10/2/2023	1,35	1,28	2,64	6,26	11,55

Berdasarkan tabel 4.4 diperoleh nilai rugi total generator diantaranya yaitu rugi stator, rotor, besi, dan mekanik. Berdasarkan tabel 4.4 bahwa perubahan arus pada generator dan arus eksitasi dapat mempengaruhi nilai rugi pada stator dan rotor, dimana ketika nilai arus generator dan arus eksitasi besar maka nilai rugi pada stator dan rotor akan semakin meningkat, sedangkan ketika nilai arus generator dan arus eksitasi kecil maka nilai rugi pada stator dan rotor akan menurun.

Tabel 4.5 Total Rugi-rugi pada generator unit 2

Data	Rugi Stator (MW)	Rugi Rotor (MW)	Rugi Besi (MW)	Rugi Mekanik (MW)	Total Rugi-rugi (MW)
1/2/2023	1,44	1,43	2,87	6,44	12,19
2/2/2023	1,22	1,26	2,48	5,92	10,89
3/2/2023	1,47	1,45	2,93	6,48	12,34
4/2/2023	1,04	1,13	2,17	5,45	9,81
5/2/2023	1,49	1,40	2,89	6,49	12,28
6/2/2023	1,47	1,48	2,95	6,49	12,41
7/2/2023	1,47	1,45	2,93	6,54	12,42
8/2/2023	1,49	1,45	2,95	6,56	12,71
9/2/2023	1,60	1,59	3,20	6,79	13,19
10/2/2023	1,46	1,48	2,94	6,49	12,38

Berdasarkan tabel 4.5 diperoleh nilai rugi total generator diantaranya yaitu rugi stator, rotor, besi, dan mekanik. Berdasarkan tabel 4.5 bahwa perubahan arus pada generator dan arus eksitasi dapat mempengaruhi nilai rugi pada stator dan rotor, dimana ketika nilai arus generator dan arus eksitasi besar maka nilai rugi pada stator dan rotor akan semakin meningkat, sedangkan ketika nilai arus generator dan arus eksitasi kecil maka nilai rugi pada stator dan rotor akan menurun.

### 4.3. Perhitungan Daya Input Generator (Pin)

Perhitungan Pin generator yaitu dengan menjumlahkan nilai Pout generator dengan total rugi-rugi generator. Berikut contoh perhitungan daya masukan generator (Pin) unit 1 pada sampel data hari pertama Kamis 1 Februari 2023 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= P_{Out} + \sum P_{\text{rugi-rugi}} \\
 &= 625,69 \text{ MW} + 11,49 \text{ MW} \\
 &= 637,18 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

#### 4.4. Perhitungan Efisiensi Generator

Sampel data perhitungan hari ke-1 kamis 1 february 2023. Persentase efisiensi generator diperoleh dari data pembebanan generator sebagai berikut :

$$\eta \text{ gen} = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Sigma \text{Rugi-Rugi}} \times 100\%$$

$$\eta \text{ gen} = \frac{625,69}{625,69+11,49} \times 100\%$$

$$\eta \text{ gen} = \frac{625,69}{637,18} \times 100\%$$

$$\eta \text{ gen} = 0,9819674189 \times 100\%$$

$$\eta \text{ gen} = \mathbf{98,20 \%}$$

Untuk perhitungan efisiensi generator di tabel 4.6 dan 4.7 diurutkan berdasarkan beban yang paling kecil ke beban yang besar, bukan berdasarkan data harian yang ada di Logsheet generator. Sehingga nilai efisiensi pada generator sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil perhitungan efisiensi generator unit 1

Data	Pin Generator (MW)	Pout Generator (MW)	Beban Generator (%)	Efisiensi perhitungan (%)
1	637,18	625,69	95	98,20
2	637,88	626,33	95	98,19
3	645,44	633,75	96	98,19
4	656,94	644,99	98	98,18
5	659,20	647,13	98	98,17
6	662,87	650,69	99	98,16
7	665,12	653,00	99	98,18
8	665,46	653,33	99	98,18
9	665,91	653,66	99	98,16
10	692,43	679,49	103	98,13
Rata-rata	658,84	646,81	98	98,17

Berdasarkan tabel 4.6, efisiensi rata-rata generator unit 1 sebesar 98,17 % dan beban rata-rata sebesar 646,81 MW. Tabel 4.6 menunjukkan efisiensi terendah saat beban melebihi nilai maksimum sebesar 679,49 MW atau 103 % dengan efisiensi sebesar 98,13%, sedangkan efisiensi tertinggi pada saat beban sebesar 625,69 MW atau sebesar 95% dengan nilai efisiensi 98,20%. Dari Tabel 4.6 terlihat bahwa perubahan beban generator dapat mempengaruhi nilai efisiensi, dengan nilai beban yang tinggi atau daya generator yang tinggi maka efisiensinya lebih rendah. Sedangkan dengan nilai beban yang rendah atau daya generator yang rendah maka efisiensinya meningkat.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan efisiensi generator unit 2

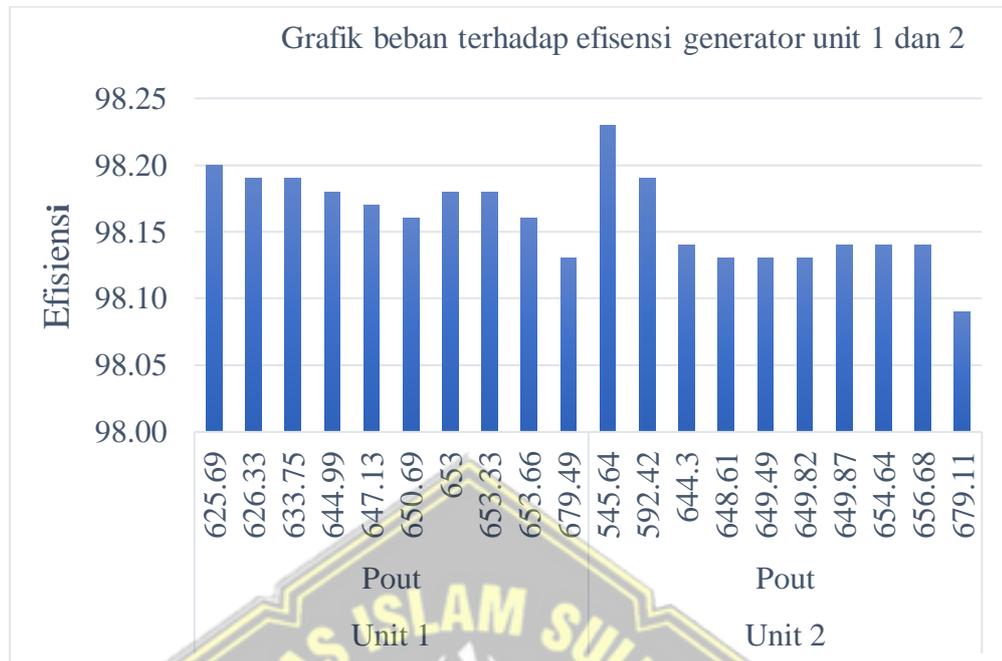
Data	Pin Generator (MW)	Pout Generator (MW)	Beban Generator (%)	Efisiensi perhitungan (%)
1	555,45	545,64	83	98,23
2	603,31	592,42	90	98,19
3	656,49	644,30	98	98,14
4	660,95	648,61	98	98,13
5	661,87	649,49	98	98,13
6	662,23	649,82	98	98,13
7	662,15	649,87	98	98,14
8	667,06	654,64	99	98,14
9	669,15	656,68	99	98,14
10	692,30	679,11	103	98,09
Rata-rata	649,10	637,06	97	98,14

Berdasarkan tabel 4.7 rata-rata efisiensi generator unit 2 yaitu 98,14 % dan rata-rata bebannya sebesar 637,06 MW. Tabel 4.7 menunjukkan efisiensi terendah saat beban melebihi nilai maksimum sebesar 679,11 MW atau 103% dengan nilai efisiensi sebesar 98,13%, Sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada saat beban 545,64 MW atau 83% dengan nilai efisiensi sebesar 98,23%. Jadi, dapat dilihat pada tabel 4.7 tersebut bahwa terlihat bahwa

perubahan beban generator dapat mempengaruhi nilai efisiensi, dengan nilai beban yang tinggi atau daya generator yang tinggi maka efisiensinya lebih rendah. Sedangkan dengan nilai beban yang rendah atau daya generator yang rendah maka efisiensinya meningkat.

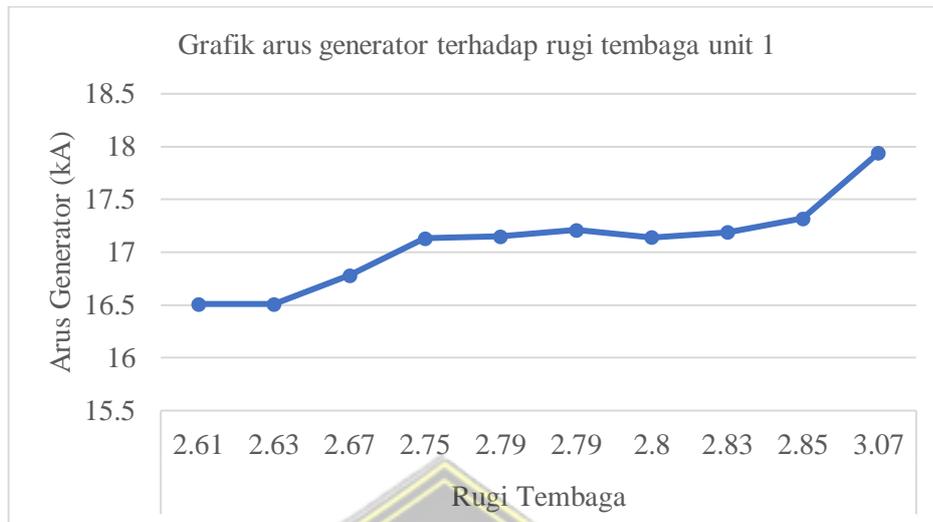
Tabel 4.8. Data perbandingan efisiensi generator unit 1 dan 2

Data	Perbandingan Efisiensi Generator			
	Beban (MW)	Unit 1 (%)	Beban (MW)	Unit 2 (%)
1	625,69	98,20	545,64	98,23
2	626,33	98,19	592,42	98,19
3	633,75	98,19	644,30	98,14
4	644,99	98,18	648,61	98,13
5	647,13	98,17	649,49	98,13
6	650,69	98,16	649,82	98,13
7	653,00	98,18	649,87	98,14
8	653,33	98,18	654,64	98,14
9	653,66	98,16	656,68	98,14
10	679,49	98,13	679,11	98,09
Rata-rata	646,81	98,17	637,06	98,14



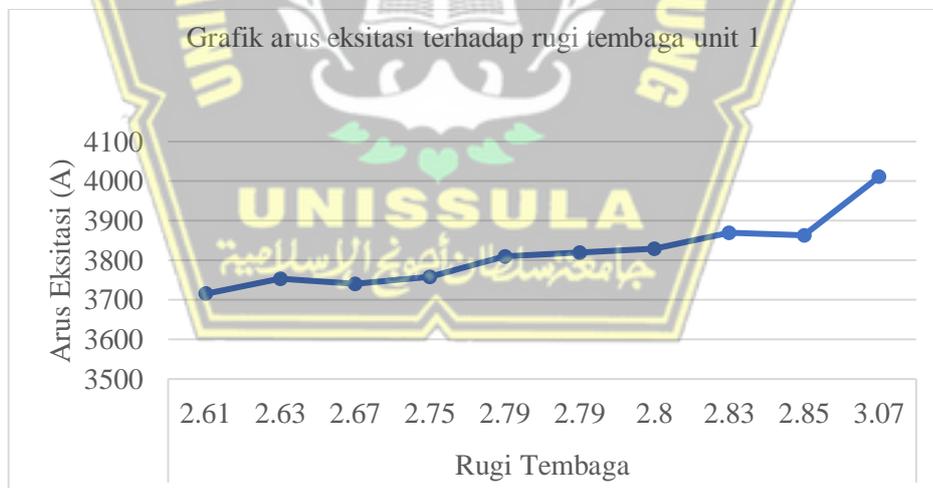
Gambar 4.2 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 1 dan 2

Jika dilihat dari grafik diatas terjadi fluktuasi nilai efisiensi generator unit 1. Selama pengambilan data dari tanggal 1-10 Februari 2023 menunjukkan bahwa nilai efisiensi terendah pada unit 1 terjadi pada saat beban mencapai 679,49 MW atau 103%, dengan nilai efisiensi mencapai 98,13%. Sebaliknya, nilai efisiensi tertinggi terjadi pada saat beban 625,69 MW atau 95%, dengan nilai efisiensi mencapai 98,20% Sedangkan nilai efisiensi terendah pada unit 2 pada saat beban mencapai 679,11 MW atau 103%, dengan nilai efisiensi mencapai 98,13%. Sedangkan, nilai efisiensi tertinggi pada saat beban mencapai 545,64 MW atau 83%, dengan nilai efisiensi mencapai 98,23%. Perubahan beban pada generator dapat mempengaruhi nilai efisiensi, sehingga pada saat nilai beban atau daya generator tinggi maka efisiensinya rendah, sedangkan pada saat nilai beban atau daya generator rendah maka nilai efisiensinya tinggi.



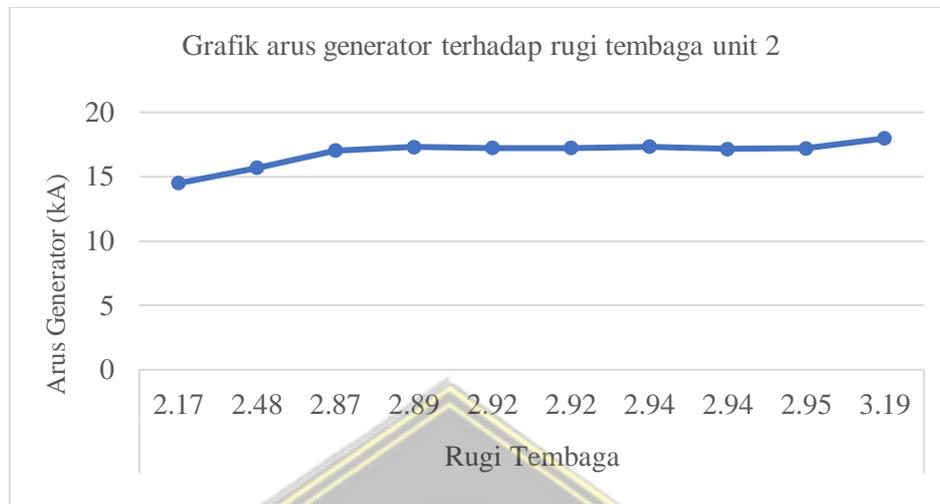
Gambar 4.3 Grafik arus generator terhadap rugi tembaga unit 1

Jika dilihat dari grafik diatas menunjukkan bahwa perubahan arus pada generator dapat mempengaruhi nilai rugi pada tembaga, dimana ketika nilai arus generator besar maka nilai rugi pada tembaga akan semakin meningkat, sedangkan ketika nilai arus generator kecil maka nilai rugi pada tembaga akan menurun



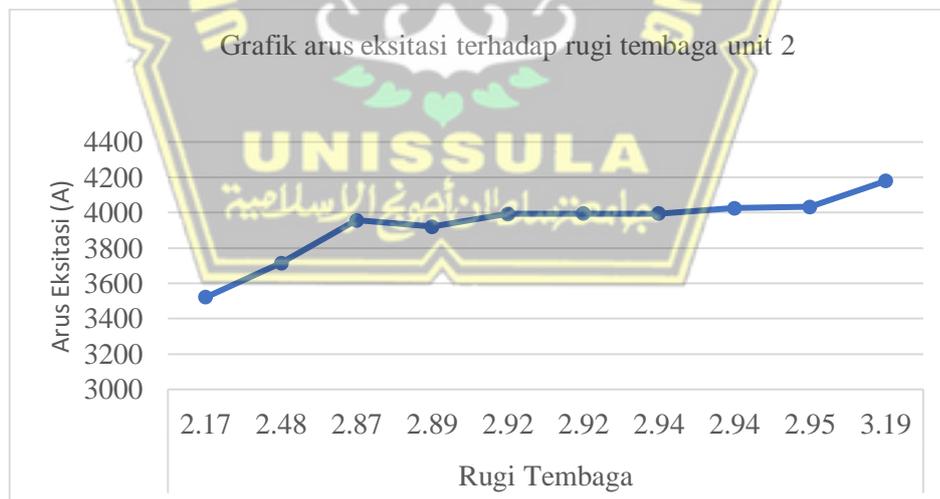
Gambar 4.4 Grafik arus eksitasi terhadap rugi tembaga unit 1

Jika dilihat dari grafik diatas menunjukkan bahwa perubahan arus pada eksitasi dapat mempengaruhi nilai rugi pada tembaga, dimana ketika nilai arus eksitasi besar maka nilai rugi pada tembaga akan semakin meningkat, sedangkan ketika nilai arus eksitasi kecil maka nilai rugi pada tembaga akan menurun



Gambar 4.5 Grafik arus generator terhadap rugi tembaga unit 2

Jika dilihat dari grafik diatas menunjukkan bahwa perubahan arus pada generator dapat mempengaruhi nilai rugi pada tembaga, dimana ketika nilai arus generator besar maka nilai rugi pada tembaga akan semakin meningkat, sedangkan ketika nilai arus generator kecil maka nilai rugi pada tembaga akan menurun



Gambar 4.6 Grafik arus eksitasi terhadap rugi tembaga unit 2

Jika dilihat dari grafik diatas menunjukkan bahwa perubahan arus pada eksitasi dapat mempengaruhi nilai rugi pada tembaga, dimana ketika nilai arus eksitasi besar maka nilai rugi pada tembaga akan semakin meningkat, sedangkan ketika nilai arus eksitasi kecil maka nilai rugi pada tembaga akan menurun

#### 4.5. Hasil Perhitungan Pembebanan Unit 1

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Pembebanan Unit 1

Data	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAR)
1/2/2023	636,26	629,90	89,07
2/2/2023	643,47	637,03	90,08
3/2/2023	658,76	652,17	92,22
4/2/2023	665,38	652,07	126,42
5/2/2023	653,03	646,50	91,42
6/2/2023	663,66	650,38	126,09
7/2/2023	663,00	656,37	92,82
8/2/2023	662,94	656,31	92,81
9/2/2023	693,85	679,98	131,83
10/2/2023	638,83	626,06	121,37

Contoh perhitungan daya semu, aktif dan reaktif di unit 1 hari pertama Kamis 1 Februari 2023 sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \times V_g \times I_g \dots\dots\dots(2.4)$$

$$= \sqrt{3} \times 22.250 \times 16.510$$

$$= 636.264.534$$

$$= 636,264 \text{ MVA}$$

$$P = \sqrt{3} \times V_g \times I_g \times \text{Cos}\phi \dots\dots\dots(2.7)$$

$$= \sqrt{3} \times 22.250 \times 16.510 \times 0,99$$

$$= 629.901.888$$

$$= 629,901 \text{ MW}$$

$$Q = \sqrt{3} \times V_g \times I_g \times \text{Sin}\phi \dots\dots\dots (2.9)$$

$$= \sqrt{3} \times 22.250 \times 16.510 \times \text{Sin } 8,10$$

$$= \sqrt{3} \times 367.347.500 \times 0,14$$

$$= 89.077.034,76$$

$$= 89,07 \text{ MVAR}$$

#### 4.6. Hasil Perhitungan Pembebanan Unit 2

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Pembebanan Unit 2

Data	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAR)
1/2/2023	658,36	645,20	125,89
2/2/2023	603,57	591,50	114,67
3/2/2023	663,24	649,97	126,01
4/2/2023	556,91	545,77	105,81
5/2/2023	660,71	654,10	92,50
6/2/2023	666,13	652,81	126,56
7/2/2023	668,48	655,11	127,01
8/2/2023	669,96	656,56	127,29
9/2/2023	697,19	683,25	132,46
10/2/2023	666,36	653,03	126,60

Contoh perhitungan daya semu, aktif dan reaktif di unit 2 hari pertama Kamis 1 Februari 2023 sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \times V_g \times I_g \dots\dots\dots(2.4)$$

$$= \sqrt{3} \times 22.320 \times 17.030$$

$$= 658.369.139$$

$$= 658,369 \text{ MVA}$$

$$P = \sqrt{3} \times V_g \times I_g \times \text{Cos}\phi \dots\dots\dots(2.7)$$

$$= \sqrt{3} \times 22.320 \times 17.030 \times 0,98$$

$$= 645.201.756$$

$$= 645,201 \text{ MW}$$

$$Q = \sqrt{3} \times V_g \times I_g \times \text{Sin}\phi \dots\dots\dots(2.9)$$

$$= \sqrt{3} \times 22320 \times 17030 \times \text{Sin } 11,47$$

$$= \sqrt{3} \times 367.347.500 \times 0,19$$

$$= 120.890.261$$

$$= 120,890 \text{ MVAR}$$

#### 4.7. Analisa

Selama pengambilan data pada tanggal 1-10 Februari 2023, tercatat bahwa nilai efisiensi terendah pada unit 1 terjadi pada saat beban mencapai 679,49 MW atau 103% dengan nilai efisiensi sebesar 98,13%. Sebaliknya, nilai efisiensi tertinggi pada unit 1 terjadi pada saat beban 625,69 MW atau 95% dengan nilai efisiensi sebesar 98,20%. Pada unit 2, nilai efisiensi terendah terjadi pada saat beban melebihi nilai maksimum yaitu 679,11 MW atau 103% dengan nilai efisiensi sebesar 98,13%. Sedangkan, nilai efisiensi tertinggi pada unit 2 terjadi pada saat beban mencapai 545,64 MW atau 83% dengan nilai efisiensi sebesar 98,23%.

Efisiensi generator tidak bisa 100% karena adanya rugi generator yang disebabkan oleh peningkatan daya input. Penggunaan generator pada saat beban berat atau puncak untuk waktu yang lama juga dapat berdampak pada kinerja alternator dalam mengubah energi menjadi listrik. Rugi generator terdiri dari rugi panas pada belitan dan inti, serta rugi mekanik akibat gesekan udara selama putaran.

Berdasarkan Tabel 4.8 efisiensi rata-rata generator di unit 1 adalah 98,17%, sedangkan di unit 2 adalah 98,14%. Merujuk pada manual generator PT TJBPS, diketahui nilai efisiensi genset  $\pm 98\%$ . Dibandingkan dengan nilai efisiensi generator unit 1 dan 2 yang dihitung sebesar 98,17 % dan 98,14%, nilai efisiensi generator unit 1 dan 2 saat ini masih sangat efisien,

Semakin tinggi efisiensi generator, semakin baik keandalan sistem. Oleh karena itu, analisis efisiensi generator harus dilakukan supaya mengetahui kinerja generator masih layak beroperasi. Arus listrik mengalir ketika generator dihubungkan dengan beban. Besar kecilnya aliran arus tergantung dari besar kecilnya tahanan beban. Untuk kinerja yang optimal, penting untuk menjaga stabilitas selama pengoperasian generator. Perbedaan beban kerja dapat menyebabkan ketidakstabilan generator, yang menyebabkan penurunan efisiensi.

Daya eksitasi/arus eksitasi sangat berpengaruh terhadap perubahan beban yang dibangkitkan pada generator karena dengan eksitasi maka akan membangkitkan medan magnet/medan putar pada kumparan rotor yang diinduksikan sesuai dengan proses elektromagnetik untuk menghasilkan ggl induksi yang akan menimbulkan arus bolak-balik.

Perubahan arus pada generator dan arus eksitasi dapat mempengaruhi nilai rugi pada stator dan rotor, dimana ketika nilai arus generator dan arus eksitasi besar maka nilai rugi pada stator dan rotor akan semakin meningkat, sedangkan ketika nilai arus generator dan arus eksitasi kecil maka nilai rugi pada stator dan rotor akan menurun. Efisiensi generator dapat dipengaruhi oleh perubahan bebannya, dengan beban tinggi menghasilkan efisiensi yang lebih rendah sedangkan pada beban rendah menyebabkan efisiensi meningkat.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Efisiensi unit 1 terendah pada beban 679,49 MW dengan efisiensi 98,13%. Sebaliknya, efisiensi tertinggi adalah 98,20% pada beban 625,69 MW. Unit 2 paling tidak efisien dengan beban 679,11 MW dengan efisiensi 98,09 %. Sedangkan, efisiensi tertinggi adalah 98,23% pada beban 545,64 MW.
2. Perubahan beban pada generator dapat mempengaruhi nilai efisiensi, sehingga pada saat nilai beban atau daya generator tinggi maka efisiensinya rendah, sedangkan pada saat nilai beban atau daya generator rendah maka nilai efisiensinya tinggi.
3. Perubahan arus pada generator dan arus eksitasi dapat mempengaruhi nilai rugi pada stator dan rotor, dimana ketika nilai arus generator dan arus eksitasi besar maka nilai rugi pada stator dan rotor akan semakin meningkat, sedangkan ketika nilai arus generator dan arus eksitasi kecil maka nilai rugi pada stator dan rotor akan menurun
4. Berdasarkan manual book generator PT TJBPS diketahui bahwa efisiensi desain generator  $\pm 98\%$ . Dibandingkan dengan nilai efisiensi yang dihitung sebesar 98,17% dan 98,14% untuk unit generator 1 dan 2, nilai efisiensi generator saat ini sangat efisien.

#### **5.2 Saran**

1. Dapat dilaksanakan perawatan rutin guna menjaga kondisi generator agar tetap optimal dalam menghasilkan listrik. Hal ini berguna untuk menjaga kestabilan pasokan energi listrik ke masyarakat dan industri.
2. Diharapkan dilakukan penambahan sensor pengukuran pada beberapa komponen plant, misalnya aliran steam pada low pressure turbine (LP)

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmat, S. (2022). Mengoptimalkan Fluks Magnet Pada Generator AC Menggunakan Sumber Eksternal Untuk Menghasilkan Tegangan (Doctoral dissertation, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung).
- Aritonang, J. P. (2017). Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator di PLTGU PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Keramasan (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- Cahyadi, D. and Hermawan (2015) 'ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI TURBINE GENERATOR QFSN-300-2-20B UNIT 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU REMBANG', Laporan Kerja Praktek Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2015(October), pp. 1–8.
- Dayat. (2017, Januari 5). Prinsip kerja dan Kontruksi Generator Sinkron. Retrieved Juli 9, 2023, from Akmal.Blogspot: <https://dayat-akmal.blogspot.com/2017/05/prinsip-kerja-dan-kontruksi-generator.html>
- Gaos, M. M. Y. (2020). ANALISA EFISIENSI ELEKTRIK MOTOR INDUKSI 3 PHASA 185 KW PADA BLOWER COOLING TOWER UNIT 1 DI PT DSSP POWER SUMSEL 5 (Doctoral dissertation, POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA).
- Hariansyah, R., & Rameli, I. M. (2019). Desain Diagram Ladder dengan Metode Huffman Untuk Logic Sequence Turbine Generator Pada PLTU (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Jepersen, S. (2016). ANALISA PENGARUH BEBAN TERHADAP EFISIENSI GENERATOR SINKRON UNIT 1 DI PLTU PT. BUKIT ASAM (PERSERO) TBK TANJUNG ENIM–SUMATERA SELATAN (Doctoral dissertation, POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA).
- Kholiq, N. (2015, Mei 15). Proses flow PLTU batubara. Retrieved Juli 9, 2023, from Dunia PLTU: <https://dunia-pltu.blogspot.com/2015/05/animasi-proses-flow-pltu-batubara.html>
- Kusumandaru, D. (2015, Agustus 20). Rangkaian Bintang (Y). Retrieved Juli 9, 2023,from Teknik Listrik: <https://kusumandarutp.blogspot.com/2015/08/>

[rangkaiannya.html](#)

- Leko, B. B., Noor, N. A., & Usman, U. (2021, October). Analisis Potensi Ampas Tebu Sebagai Pembangkit Listrik Biomassa Di Pabrik Gula Takalar. In Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) (pp. 12-16).
- Lister, E. C., & Gunawan, H. (1988). *Mesin dan Rangkaian Listrik*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Noer, M. (2017). Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator Di Pltg Borang Dengan Menggunakan Software Matlab. *Jurnal Ampere*, 2(2), 103-114.
- Nst, M. S. (2019). ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN EKSITASI TERHADAP DAYA REAKTIF GENERATOR (Doctoral dissertation).
- Nugroho, D. A. (2018). RANCANG BANGUN GENERATOR FREKUENSI DENGAN MOTOR DC BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN HUMAN MACHINE INTERFACE (Doctoral dissertation, undip).
- PLN. (2017). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN 2017-2026.
- Pujiyanto, L. (2020). ANALISA PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI GENERATOR TRANSFORMATOR DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 3 DAN 4 DENGAN MATLAB (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Mengenal Aneka Macam Motor Listrik. (2023). Retrieved 9 July 2023, from <https://www.jasalistrik.com/2020/07/mengenal-aneka-macam-motor-listrik.html>
- Prinsip Kerja PLTU. (2023). Retrieved 9 July 2023, from <https://kitadanenergi.blogspot.com/2014/07/prinsip-kerja-pltu.html>
- Putri, Z. Z. (2020). ANALISIS SISTEM THERMAL DITINJAU DARI PENGARUH RASIO UDARA BAHAN BAKAR SOLAR TERHADAP PRODUKSI SATURATED STEAM PADA CROSS SECTION WATER TUBE BOILER (Doctoral dissertation, POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA).

- Rakhman, A. (2023, Mei 3). Rumus Segitiga Daya Listrik dan Contoh Penggunaannya. Retrieved Juli 9, 2023, from Rakhman.Net: <https://rakhman.net/electrical-id/rumus-segitiga-daya/>
- Refaldi, I., Basir, Y. and Wardhani, D. U. Y. (2022) Analisis Fluktuasi Beban Terhadap Efisiensi Generator Sinkron di PT. PEMBANGKIT LISTRIK PALEMBANG JAYA. doi: 10.31851/ampere.v6i2.7293.
- Rijono, Y. (2002). Dasar Teknik Tenaga Listrik edisi revisi. *Yogyakarta: Penerbit Andi*.
- Rimbawati, Harahap, P. and Putra, K. (2019) 'Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator', *Jurnal Teknik Elektro*, 2(1), pp. 37–44.
- Saluran Distribusi Listrik – PT. ARRASYA TEKNIK MANDIRI. (2023). Retrieved 6 July 2023, from <https://artema.co.id/saluran-distribusi-listrik>
- Septiyan, R., Waruni K, M. and Sugeng, B. (2019) 'Analisa Hilang Daya Pada Generator Sinkron 3 Fasa (6,6 KV) 11 MVA TYPE 1DT4038-3EE02-Z', *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, 4(1), pp. 7–11. doi: 10.36277/jteuniba.v4i1.45.
- Setiawan, E. (2023). Arti kata efisiensi - Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) Online. Retrieved 10 July 2023, from <https://kbbi.web.id/efisiensi>
- Siburian, V. R. (2022) 'RANCANG BANGUN PENGONTROLAN EKSITASI GENERATOR MENGGUNAKAN REMOTE CONTROL
- Sinaga, R. D. (2015). *Analisa Pemakaian Air Heater Terhadap Peningkatan Efisiensi Boiler Unit 3 PLTU PT. PLN (Persero) Sektor Belawan*.
- Sulasno, I. (2009). *Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Usman, A. (2020). *STUDI PENGATURAN TEGANGAN KELUARAN GENERATOR SINKRON MENGGUNAKAN SISTEM POTENTIAL SOURCE RECTIFIER EXCITER* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Wibowo, S. S. (2018). *Analisa Sistem Tenaga*. Malang: POLINEMA PRESS, Politeknik Negeri Malang.

- Wildani, F., Syarifuddin and Thaha, S. (2021) 'Analisis Efisiensi Generator Pada Unit 1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap 2x25 MW PT. Rekind Daya Mamuju', Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2021, (September), pp. 63–67.
- Wulandary, A. (2014) 'Reaksi Jangkar Generator Sinkron', pp. 5–30. Available at: [http://eprints.polsri.ac.id/379/3/BAB II.pdf](http://eprints.polsri.ac.id/379/3/BAB%20II.pdf).
- Yusniati, Y., & Matondang, N. N. S. (2020, September). Analisis Sistem Pembebanan Pada Generator Di Pt. Pln (Persero) Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Titi Kuning. In Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK) (Vol. 3, No. 1, pp. 59-64).

