



Analisis Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Generator Avk Type DIG142 PLTMG Maxpower Panaran

**Oleh:
Arief Rizki Putera (4232001027)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2024**

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar pada pelaksanaan Tugas Akhir

Disusun oleh:
Arief Rizki Putera (4232001027)

Tanggal Seminar: 14 Mei 2024

Disetujui oleh :

Penguji I



TTL: 0001
BAGIAN:
1001 July 2024
Pembimbing:
JCC dan Arief Rizki
Pembimbing I:
Pembimbing II: H. Ska

Budiana, S.Si.,M.Si
NIK:117194

Penguji II

Hasnira, S.ST., M.Tr.T
NIK:107050

Pembimbing

Fauzun Atabiq, S.T., M.Cs,
NIK: 110073

Pembimbing Lapangan

Dedy Haryadi
NIP : N090765

Lembar Pengesahan Industri

Data laporan Tugas Akhir ini bebas dari plagiasi dan mendapatkan izin untuk disimpan, dikelola dan dipublikasikan untuk kepentingan akademik

Disusun Oleh
Arief Rizki Putera (4232001027)

Perogram studi: Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan: Teknik Elektro
Politeknik Negri Batam

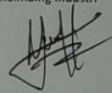
Judul Tugas Akhir ini: Analisa Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Generator Avk Type DIG142
PLTMG M. P. Panaran Indonesia

Perusahaan: PT Maxpower Panaran Indonesia
Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing

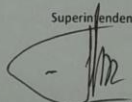
Fauzun Atabiq, S.T., M.Cs.
Nik: 110073

Pembimbing Industri



Muhammad Yusuf
NIK : 0318920

Superintendent



Dedy Haryadi
NIP : N090765

Analisis Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Generator Avk Type DIG142 PLTMG Maxpower Panaran

Abstrak

Permintaan sumber energi Listrik semakin meningkat, namun sebanding dengan sumber energi yang semakin meningkat, oleh sebab itu diperlukan efisiensi sehingga energi listrik yang dihasilkan dari suatu pembangkit dapat maksimal, salah satu pembangkit energi listrik di Batam adalah Pembangkit Listrik tenaga mesin gas (PLTMG) Maxpower Panaran. PLTMG Maxpower Panaran memiliki 18 unit generator sinkron, unit Panaran 1 dengan daya keluaran 25 MW dan unit Panaran 2 dengan daya keluaran 25 MW. PLTMG Maxpower Panaran menggunakan metode Kontrol LEANOX, Dimana engine tersebut dipasok oleh campuran gas dengan surplus udara yang kemudian masuk keruang bakar (Combustion Chamber), hasil dari proses pembakaran mendorong piston dalam silinder mesin. Gerakan piston ini menghasilkan energi mekanis. Poros mesin gas dikopel dengan poros generator sehingga, daya keluaran dari mesin gas merupakan daya masukan pada generator. Untuk mengetahui kinerja generator sinkron pada PLTMG, perlu diketahui efisiensi dari generator tersebut. Dari hasil Analisa yang dilakukan diperoleh efisiensi generator sinkron berdasarkan data spesifikasi pada unit 7 sebesar 97,93 % dan pada unit 3 sebesar 97,66 % dan berdasarkan data logsheet diperoleh rata-rata efisiensi generator sinkron pada unit 7 sebesar 90,35 % dan unit 3 sebesar 87,43 %

Kata Kunci : Efisiensi, PLTMG, Generator sinkron , LEANOX, Mesin Gas

Analysis of Load Changes on the Efficiency of the Avk Generator Type DIG142 PLTMG Maxpower Panaran

Abstract

The demand for electrical energy sources is increasing, but in proportion to the increasing number of energy sources, therefore efficiency is needed so that the electrical energy produced from a generator can be maximized. One of the electrical energy generators in Batam is the gas engine power plant (PLTMG). Maxpower Panaran. PLTMG Maxpower Panaran has 18 synchronous generator units, Panaran 1 unit with an output power of 25 MW and Panaran 2 unit with an output power of 25 MW. PLTMG Maxpower Panaran uses the LEANOX Control method, where the engine is supplied by a gas mixture with surplus air which then enters the combustion chamber, the result of the combustion process pushing the piston in the engine cylinder. This piston movement produces mechanical energy. The gas engine shaft is coupled to the generator shaft so that the output power from the gas engine is the input power to the generator. To determine the performance of the synchronous generator at PLTMG, it is necessary to know the efficiency of the generator. From the results of the analysis carried out, it was obtained that the efficiency of the synchronous generator based on specification data in unit 7 was 97,93 % and in unit 3 it was 97,66 % and based on log sheet data it was obtained that the average efficiency of the synchronous generator in unit 7 was 90,35 % and unit 3 of 87,43 %

Keywords: Efficiency, PLTMG, Synchronous Generator, LEANOX, Gas Engine

Daftar Isi

Lembar Pengesahan	1
Abstrak	3
Daftar Isi	5
Daftar Gambar	7
Daftar Tabel	8
Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan.....	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	4
2.1 Mesin Gas Jenbacher.....	4
2.2 Prinsip Kerja Mesin 4 Tak (Four Stroke Engine) Berbahan Bakar Gas	4
2.3 Sistem Pembakaran Pada Engine Gas.....	7
2.4 Generator Sinkron	7
2.5 Prinsip Kerja Generator Sinkron	9
2.6 Konstruksi Generator	10
2.7 Penguat Generator	12
2.8 Sistem Eksitasi	13
2.9 Automatic Voltage Regulator (AVR)	15
2.10 Karakteristik Beban Generator	16
2.11 Kerja Pararel Generator	18
2.12 Prinsip Kerja Memparalelkan Generator	23
2.13 Efisiensi Generator.....	24
2.13.1 Faktor Efisiensi Generator	25
2.14 Daya dan Faktor Daya	25
2.14.1 Daya Aktif (P).....	26
2.14.2 Daya Reaktif (Q)	26

2.14.3 Daya Nyata (S)	26
2.14.4 Faktor Daya	27
Bab 3. Metodologi Penelitian	28
3.1. Alur Penelitian	28
3.2 Studi Literatur.....	29
3.3 Analisa Data.....	29
3.4 Metode Pengumpulan Data.....	29
3.4.1 Data Primer	30
3.4.2 Data Sekunder	30
3.5 Tempat Penelitian	31
3.6 Waktu Penelitian	31
3.7 Data Spesifikasi Peralatan	31
3.7.1 Data Spesifikasi Generator Avk Type DIG142	31
3.7.2 Data Spesifikasi Engine Gas Jenbacher	32
Bab 4. Hasil dan Pembahasan.....	33
4.1 Data Penelitian	33
4.2 Perhitungan Efisiensi Generator Berdasarkan Data Spesifikasi	35
4.3 Perhitungan Efisiensi Generator Berdasarkan Data Harian	36
4.4 Hasil Analisa.....	38
Bab. 5 Kesimpulan	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	47
Daftar Pustaka	48
Lampiran	49

Daftar Gambar

Gambar 1. Engine Gas Jenbacher <i>Type</i> 6	3
Gambar 2. Prinsip kerja mesin 4 langkah	4
Gambar 3. Generator Avk <i>Type</i> DIG142 PLTMG Maxpower Panaran	7
Gambar 4. Gambar Dimensi Generator <i>Type</i> DIG 142	7
Gambar 5. Gambar Rotor Generator <i>Type</i> DIG 142	8
Gambar 6. (a) perbedaan gelombang sinus dan (b) perbedaan fasor tiap fasa.....	9
Gambar 7. Kontruksi generator sinkron kutub menonjol (salient pole)	10
Gambar 8. rotor non salient	11
Gambar 9. Kurva pengaturan generator penguatan sendiri	12
Gambar 10. Diagram Generator Penguatan Terpisah.....	13
Gambar 11. Kurva penguatan terpisah dengan karakteristik luar.....	14
Gambar 12. AVR STAMFORD <i>Type</i> : DM110	15
Gambar 13. Rangkaian ekivalen generator tanpa beban	16
Gambar 14. Rangkaian ekivalen generator berbeban	17
Gambar 15. Karakteristik pembebanan generator	17
Gambar 16. Pararel generator	22
Gambar 17. <i>Synchronoscope</i>	23
Gambar 18. Diagram Alir (Flowchart)	28
Gambar 19. Name plate generator Avk <i>Type</i> DIG 142	31
Gambar 20. Grafik bar perbandingan efisiensi pada 8 januari 2024	38
Gambar 21. Grafik bar perbandingan efisiensi pada 9 januari 2024	39
Gambar 22. Grafik bar perbandingan efisiensi pada 10 januari 2024	40
Gambar 23. Grafik bar perbandingan efisiensi pada 11 januari 2024	41
Gambar 24. Grafik bar perbandingan efisiensi pada 12 januari 2024	42
Gambar 25. Grafik bar perbandingan efisiensi pada 15 januari 2024	43
Gambar 26. Grafik bar perbandingan efisiensi pada 16 januari 2024	44

Daftar Tabel

Tabel 1 Spesifikasi Generator AvK PLTMG Maxpower Panaran unit 3 dan unit 7..	30
Tabel 2 Spesifikasi Engine Gas PLTMG Maxpower Panaran	31
Tabel 3. Data Pembebanan Harian Generator unit 3 dan unit 7.....	33
Tabel 4. Hasil Daya Input dan Perbandingan Efisiensi unit 3 dan unit 7	38

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) merupakan sebuah pembangkit listrik yang menggunakan mesin gas sebagai penggerak generatornya. PLTMG difungsikan untuk mengatasi kebutuhan energi listrik saat beban puncak karena operasi penyediaan dayanya lebih cepat dengan menghasilkan daya yang besar tapi hanya membutuhkan ruang kecil untuk penempatan mesinnya.[1]

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTMG) Maxpower Indonesia yang berlokasi di Panaran merupakan salah satu pembangkit listrik yang memenuhi *supply* listrik andal di Batam. PLTMG Maxpower Panaran menghasilkan daya listrik sebesar 2x25 MW yang didistribusikan melalui jaringan distribusi 20 KV Batam dan 150 KV Batam-Bintan dengan mode operasi adalah *Island Mode*. *Island operation plant system* merupakan instalasi tetap dengan gas *engine* tetapi tidak ada sambungan ke sistem pasokan listrik publik nasional. Sistem ini perlu mempertahankan toleransi frekuensi tertentu untuk menyediakan power *supply* yang andal. Hal ini dicapai dengan mengontrol kecepatan generator.[1]

PLTMG Maxpower Panaran merupakan pembangkit listrik dengan 18 mesin gas. Setiap mesin terdiri dari 20 silinder dan 1 generator. Pembangkit ini menggunakan *single-fuel engine technology* untuk *power generation* dengan bahan bakar *Compressed Natural Gas* (CNG). Mesin gas berfungsi untuk mengkonversikan energi termal menjadi energi mekanik yang dikonversikan kembali menjadi listrik oleh generator. Mesin-mesin Jenbacher menggunakan metode LEANOX, yaitu pengembangan dari Lean-Mix. Mesin dengan metode ini dipasok oleh campuran gas dengan surplus udara untuk mengurangi seminimal mungkin emisi pada tahap pembakaran. Mesin tersebut merupakan gas engine Jenbacher JMS-620 NS F-L. Jenbacher memiliki beberapa jenis tipe mesin, untuk tipe Jenbacher JMS merupakan tipe dengan mode operasi *co-generation plant*. Mesin tipe ini tidak hanya menghasilkan listrik tetapi juga panas yang dimanfaatkan kembali. Panas yang dimanfaatkan adalah panas dari *exhaust gas*, *lubrication system*, dan *cooling system*. Panas ini dimanfaatkan kembali oleh turbocharger.[2]

Pada proses pembangkit listrik di PLMTG Maxpower Panaran daya rated yang dibangkitkan oleh generator sebesar 50 MW. Secara aktual daya yang dibangkitkan tidak selalu statik pada nilai rated. Dalam Kondisi saat ini PLTMG Maxpower Panaran telah beroperasi dalam beberapa tahun mengalami beberapa permasalahan yang dapat menurunkan efisiensi dari generator.[3]

Efisiensi generator akan mempengaruhi kinerja dari sistem PLTMG. Semakin besar efisiensi dari generator maka keandalan sistem juga semakin baik. Selama beroperasi, efisiensi generator mengalami penurunan akibat

beberapa faktor seperti Running Hours, Engine Gas trip (unit shutdown), dan kesalahan dalam pengoprasian. Khususnya pada generator unit 3 dan unit 7 PLTMG Maxpower Panaran memiliki nilai efisiensi generator yang berbeda, yaitu 87,43% : 90,35% berdasarkan data logsheet dan 97,66% : 97,73% berdasarkan data spesifikasi, data ini menunjukkan bahwa generator unit 7 memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibanding generator unit 3 baik berdasarkan data logsheet maupun data spesifikasi.[3]

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana Menganalisis efisiensi generator unit 3 dan unit 7 PLTMG Maxpower panaran berdasarkan data spesifikasi.
2. Bagaimana Menganalisis efisiensi generator unit 3 dan unit 7 PLTMG Maxpower panaran berdasarkan data harian.
3. Bagaimana Menganalisis perbandingan efisiensi generator sinkron unit 3 dan 7 di PLTMG Maxpower panaran.

1.3. Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Menganalisis efisiensi generator unit 3 dan unit 7 panaran 2 berdasarkan data spesifikasi.
2. Menganalisis efisiensi generator unit 3 dan unit 7 panaran 2 berdasarkan data Harian.
3. Menganalisis perbandingan efisiensi generator sinkron unit 3 dan unit 7 di PLTMG Maxpower panaran.

1.4. Manfaat

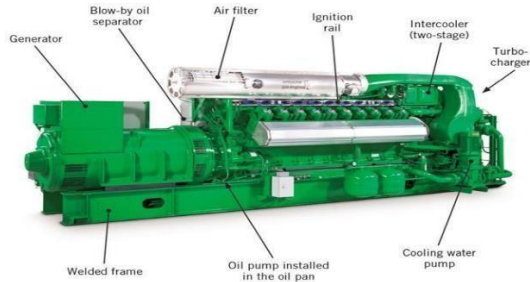
1. Mengetahui efisiensi generator unit 3 dan unit 7 panaran 2 berdasarkan data spesifikasi.
2. Mengetahui efisiensi generator unit 3 dan unit 7 panaran 2 berdasarkan data Harian.
3. Mengetahui perbandingan efisiensi generator sinkron unit 3 dan unit 7 di PLTMG Maxpower panaran.

1.5. Batasan

1. Tidak berfokus pada proteksi pada generator.
2. Hanya Membahas efisiensi dan daya yang dihasilkan dari generator.
3. Hanya membandingkan efisiensi generator unit 3 dan unit 7 secara actual (Daily Logsheets)
4. Tidak membahas Rugi – Rugi Generator

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1 Mesin Gas Jenbacher



Gambar 1. Engine Gas Jenbacher Type 6

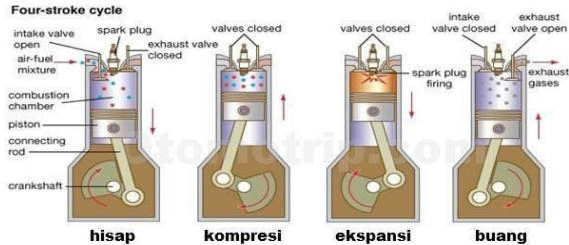
Sumber : .Training Operator Maxpower indonesia

Mesin gas Jenbacher tersedia dalam kisaran output listrik 0,3-9,5 MW untuk masing-masing unit. Mesin gas Jenbacher diproduksi di kota Jenbach, Austria di Tyrol. Mesin gas Jenbacher dirancang untuk berjalan hanya pada berbagai jenis gas, dan untuk berbagai jenis aplikasi. Jenbacher telah memimpin inovasi mesin gas selama 50 tahun terakhir dengan perkembangan filosofi kontrol *LEANOX*, mesin gas 20 silinder pertama di dunia, mesin gas 24 silinder pertama di dunia, mesin gas twin-turbocharger pertama di dunia, konsep 4-seri berefisiensi tinggi serta telah dikembangkan varian yang cocok untuk berbagai aplikasi yang berbeda termasuk gas alam, biogas, gas lapisan batu bara dan gas minyak bumi.[2]

2.2 Prinsip Kerja Mesin 4 Tak (Four Stroke Engine)

Berbahan Bakar Gas

Four stroke engine adalah sebuah mesin dimana untuk menghasilkan Sebuah tenaga memerlukan empat proses langkah naik-turun piston, dua kali rotasi kruk as (cranshaft), dan satu putaran nokren as (camshaft).[2]



Gambar 2. Prinsip kerja mesin 4 langkah

Sumber: Basic Training Maxpower indonesia

Empat proses langkah tersebut terbagi dalam siklus :

1. Langkah Hisap (intake stroke)
Langkah hisap bertujuan untuk memasukkan udara dan bahan bakar ke dalam silinder. Sebagaimana tenaga mesin diproduksi tergantung dari jumlah bahan bakar yang terbakar selama proses pembakaran.

Prosesnya adalah sebagai berikut :

1. Piston bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB)
 2. Klep (valve) inlet terbuka dan outlet valve tertutup, kemudian campuran udara dan gas masuk ke ruang silinder (combustion chamber)
 3. Kruk As (crankshaft) berputar 180 derajat
 4. Noken As (camshaft) berputar 90 derajat
 5. Tekanan negatif piston menghisap kabut campuran udara dan bahan bakar masuk ke ruang silinder.
2. Langkah Kompresi (Compression stroke)
Langkah kompresi dimulai saat klep (valve) inlet menutup dan piston terdorong ke arah ruang bakar akibat momentum dari kruk as (crankshaft) dan flywheel.

Tujuan dari langkah kompresi adalah untuk meningkatkan temperatur sehingga campuran udara dan bahan bakar dapat bersenyawa. Rasio kompresi ini juga nantinya berhubungan erat dengan produksi tenaga.

Prosesnya adalah sebagai berikut :

1. Piston bergerak kembali dari TMB ke TMA
 2. Inlet valve menutup, exhaust valve tetap tertutup
 3. Bahan bakar termampatkan ke dalam kubah pembakaran (combustion chamber)
 4. Beberapa derajat sebelum TMA, busi (spark plug) mulai menyalakan bungan api dan memulai proses pembakaran
 5. Kruk as mencapai satu rotasi penuh (360 derajat)
 6. Noken as mencapai 180 derajat
3. Langkah kerja (Expansion stroke)
- Dimulai ketika campuran udara dan gas dinyalakan oleh busi. dengan cepat campuran yang terbakar ini merambat dan terjadilah ledakan yang tertahan oleh dinding kepala silinder sehingga menimbulkan tendangan balik bertekanan tinggi yang mendorong piston turun ke silinder bore. Gerakan linier dari piston ini dirubah menjadi gerak rotasi oleh kruk as. Energi rotasi diteruskan sebagai momentum menuju flywheel yang bukan hanya menghasilkan tenaga, counter balance weight pada kruk as membantu piston melakukan siklus berikutnya.

Prosesnya adalah sebagai berikut :

1. Ledakan tercipta secara sempurna di ruang bakar
 2. Piston terlempar dari TMA menuju TMB
 3. Klep inlet menutup penuh, sedangkan menjelang akhir langkah usaha klep buang mulai sedikit terbuka
 4. Terjadi transformasi energi gerak bolak-balik piston menjadi energi rotasi kruk as
 5. Putaran kruk as mencapai 540 derajat
 6. Putaran noken as 270 derajat
4. Langkah buang (Exhaust stroke)
- Langkah buang menjadi sangat penting untuk menghasilkan operasi kinerja mesin yang lembut dan efisien. Piston bergerak mendorong gas sisa pembakaran keluar dari silinder menuju pipa knalpot. proses ini harus dilakukan dengan total, dikarenakan sedikit saja terdapat gas sisa pembakaran yang tercampur bersama pemasukkan gas baru akan mereduksi potensial tenaga yang dihasilkan.

Prosesnya adalah sebagai berikut :

1. Counter balance weight pada kruk as memberikan gaya normal untuk menggerakkan piston dari TMB ke TMA

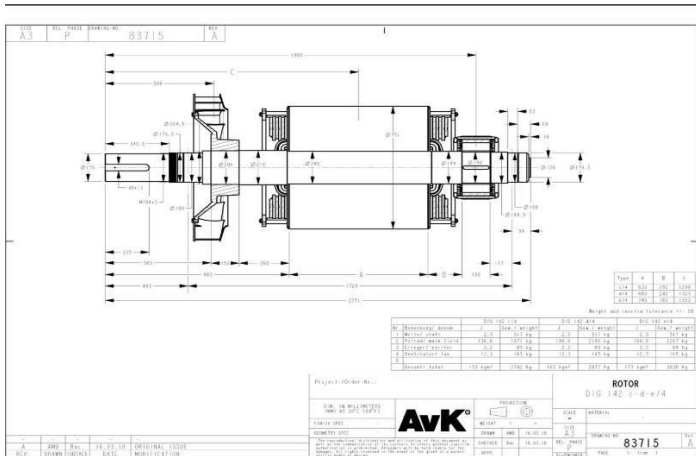
2. Klep Ex terbuka sempurna, klep inlet menutup penuh
3. Gas sisa hasil pembakaran didesak keluar oleh piston melalui port exhaust menuju knalpot
4. Kruk as melakukan 2 rotasi penuh (720 derajat)
5. Noken as menyelesaikan 1 rotasi penuh (360 derajat)

2.3 Sistem Pembakaran Pada Engine Gas

Mesin dapat dibagi menjadi dua, berdasarkan sistem pembakarannya yaitu sistem pembakaran dalam (Internal Combustion Engines) dan sistem pembakaran luar (External Combustion Engines). Suatu sistem pembakaran memerlukan 3 hal agar dapat menghasilkan energi yang diperlukan oleh mesin, yaitu bahan bakar, media pembakarannya, dan tempat terjadi pembakarannya. Pada engine gas, bahan bakar yang dimaksud adalah gas dan udara. Media pembakarannya berupa busi (Spark Plug) untuk menghasilkan api dan sistem silinder sebagai alat kompresinya, sedangkan tempat terjadinya proses pembakaran ada didalam suatu ruang bakar (Combustion Chamber). Dikarenakan proses pembakarannya didalam combustion chamber (termasuk ruang tertutup) maka engine gas termasuk sistem pembakaran dalam.[4]

2.4 Generator Sinkron

Generator sinkron atau biasa disebut alternator adalah mesin listrik yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dengan perantara nya induksi medan magnet. Generator sendiri bekerja berdasarkan hukum *faraday* "*setiap perubahan medan magnet pada kumparan akan menyebabkan gaya gerak listrik (GGL) induksi yang sebanding dengan laju perubahan fluks*". Generator sinkron bisa berupa generator tiga fasa atau generator AC satu fasa sesuai dengan kebutuhan.[5]



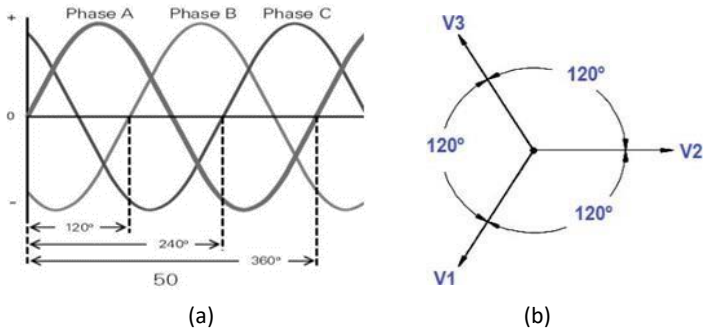
Gambar 5. Gambar Rotor Generator Type DIG 142

2.5 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Generator menghasilkan energi listrik karena adanya pergerakan relatif antara medan magnet homogen terhadap kumparan jangkar pada generator (magnet yang bergerak dan kumparan jangkar diam, atau sebaliknya magnet diam sedangkan kumparan jangkar bergerak). Berdasarkan hukum Faraday, dimana besarnya tegangan yang diinduksikan berbanding dengan besar perubahan fluks terhadap waktu. Apabila sekeliling penghantar terdapat perubahan medan magnet, maka pada penghantar tersebut akan membangkitkan sebuah gaya gerak listrik yang sifatnya melawan perubahan medan utama tersebut. Untuk menghasilkan sebuah gaya gerak listrik dibutuhkan sebuah *prime mover* atau penggerak mula dan arus masukan (I_f) yang berubah arus searah (DC) dan menghasilkan suatu medan magnet yang dapat diatur. Perubahan fluks dapat terjadi karena adanya gerakan mekanis yang dimana pengubahan tenaga elektromagnetik akan terjadi pada saat itu. Tegangan dihasilkan dalam belitan dengan memutar belitan dengan cara magnetis melalui medan magnet atau merancang rangkaian magnet sehingga harga reluctance akan berubah sesuai dengan putaran rotor. Maka fluks akan berubah secara berulang dengan kumparan tertentu, yang dapat menimbulkan tegangan yang berubah seiring waktu. [7]

Pada generator tiga fasa, tegangan yang dihasilkan akan sinusoidal jika rapat fluks magnet pada celah udara terdistribusi sinusoidal dan rotor diputar pada kecepatan konstan. Tegangan AC tiga fasa dibangkitkan pada mesin sinkron kutub

internal pada tiga kumparan stator yang dibuat sedemikian rupa untuk membentuk beda fasa dengan sudut 120° . Gambaran sederhana dari hubungan tegangan 3 fasa dengan fasor yang dibangkitkan diperlihatkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 6. (a) perbedaan gelombang sinus dan (b) perbedaan fasor tiap fasa

Pada sepatu kutub, fluks terdistribusi sinusoidal didapatkan dengan mendesain bentuk sepatu kutub. Kemudian untuk rotor silinder, kumparan rotor secara khusus desain untuk mendapatkan fluks terdistribusi secara sinusoidal.

2.6 Konstruksi Generator

Konstruksi generator AC dapat diklasifikasikan menjadi 2 berdasarkan daya yang ditimbulkan:

1. Generator sinkron dengan daya menengah ke bawah yang berputar adalah lilitan jangkarnya.
2. Generator sinkron dengan daya menengah ke atas (yang berdaya besar) disebut kutub dalam karena menggunakan belitan dalam sebagai rotornya, sehingga tidak memerlukan cincin seret untuk menyalurkan GGL Induksi yang ditimbulkan.

Konstruksi generator berdaya besar terdiri dari sebagai berikut:

1. Rangka Stator adalah kerangka yang menyangga inti jangkar generator

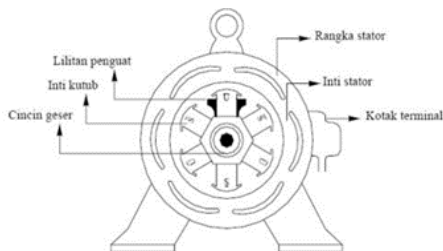
2. Stator yaitu terdiri dari inti besi dan memiliki alur alur sebagai tempat peletakan lilitan armatur atau jangkar yang berfungsi sebagai tempat timbulnya GGL induksi.
3. Rotor merupakan bagian yang berputar, terdapat kutub kutub yang memiliki inti dan kumparan medan yang lilitannya dialiri arus searah yang menjadi arus penguatan.
4. *Exciter* digunakan untuk mengatur fluksi pada gulungan medan, lalu memperbesar medan magnet pada kutub generator, sehingga tegangan output dapat diperbesar.

Terdapat 2 jenis bentuk kutub magnet yang digunakan pada rotor generator sinkron yaitu,

1. Kutub menonjol (*Salient pole*)

Kutub menonjol ini terdiri dari inti kutub, badan kutub dan sepatu kutub. Dimana kumparan medan dililitkan pada badan kutub dan kumparan peredam (*dampner winding*) dipasang pada sepatu kutub. Kumparan kutub terbuat dari tembaga sedangkan untuk badan kutub dan sepatu kutub terbuat dari besi lunak. Pemilihan konstruksi dari rotor sendiri tergantung pada kecepatan putar dari penggerak mula (*prime mover*), rating daya generator dan frekuensi. Pada kutub (*salient*), kutub magnet menonjol keluar dari permukaan rotor.

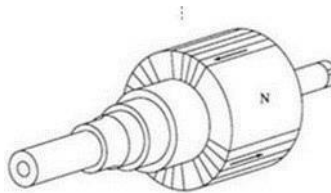
Umumnya pada kutub sepatu menggunakan empat atau lebih kutub untuk rotor. Oleh karena itu rotor akan digerakkan dengan kecepatan rendah.



Gambar 7. Kontruksi generator sinkron kutub menonjol (salient pole)

2. Kutub silindris (*non salient pole*)

Kutub silindris terdiri dari alur alur dan gigi yang untuk menempatkan kumparan medan. Pada kutub ini konstruksi kutub magnet rata dengan permukaan rotor yang akan berbentuk seperti silinder. Umumnya kutub ini menggunakan dua dan empat kutub pada rotornya sehingga dapat digerakkan dengan kecepatan yang tinggi atau biasa disebut dengan turbo generator untuk generator yang menggunakan kutub ini. Generator yang biasanya menggunakan rotor silinder adalah generator yang memiliki kecepatan 1500 rpm atau lebih pada frekuensi 50 hertz dengan rating daya 10 MVA.



Gambar 8. rotor non salient

Terdapat 2 cara menyuplai arus searah menuju rangkaian rotor, yaitu :

1. Menyalurkan sebuah daya arus searah dari sumber searah eksternal dengan sarana sikat atau *slip ring* ke rangkaian motor. Ketika generator hanya menerima sumber DC dari luar untuk start awal saja, sebagai penguat kumparan medan selanjutnya sumber DC diambil dari keluaran generator tersebut dengan cara mengubah keluaran AC menjadi DC.
2. Memasok daya searah melalui sumber arus searah khusus yang direkatkan pada tiang rotor generator sinkron.

2.7 Penguat Generator

Penguat atau *exciter* merupakan komponen untuk menyalurkan arus eksitasi menuju catu wadiah generator arus bolak balik (AC) yang dioperasikan melalui pembangkitan sebuah wadiah magnet kemudian menyalurkan arus DC menuju medan kumparanannya, Listrik arus searah didapatkan melalui baterai atau melalui arus AC yang kemudian di searahkan melalui dioda penyearah, sehingga generator akan menghasilkan tegangan listrik yang besar. Berdasarkan besarnya arus penguat.

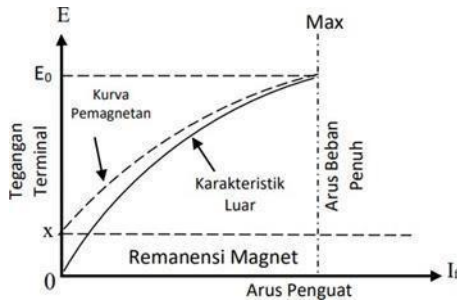
Sistem penguatan atau eksitasi terbagi atas 2, yaitu:

1. Generator penguatan terpisah.
2. Generator (*self excited*).

2.8 Sistem Eksitasi

2.8.1 Sistem Eksitasi Sendiri

Self Excited bergantung pada sisa magnetisme dari kutub medannya, apabila generator berputar konduktor jangkar akan memotong fluks yang sedikit dan akan membangkitkan Gerak Gelombang Listrik yang kecil. Lilitan *exciter* yang disambungkan pada jangkar generator akan mengalirkan arus pada medan kumparan. Apabila tahanan pada medan terbilang rendah dan arah pada arus mengikuti, maka akan kuat medan bertambah dan menghasilkan Gerak Gelombang Listrik yang tinggi sehingga arus yang mengalir pada medan kumparan akan semakin besar yang dimana fluks pada medan dan Gerak Gelombang Listrik yang dibangkitkan akan bertambah. Proses ini pada awalnya tidak terbatas namun, karena adanya rangkaian magnet yang jenuh proses ini akan mencapai suatu batas tertentu. Berikut ini adalah gambar bagaimana karakteristik sebuah generator penguatan sendiri.

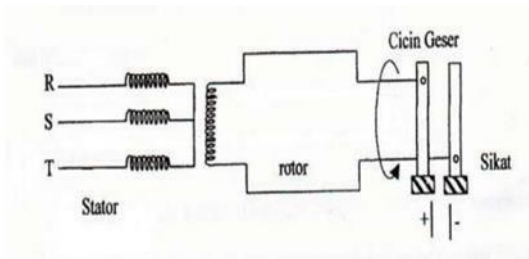


Gambar 9. Kurva pengaturan generator penguatan sendiri

2.8.2 Sistem Eksitasi Terpisah

Sebuah generator dengan sistem eksitasi terpisah adalah sebuah generator yang sistem penguatan medannya seperti baterai penyimpanan yaitu melalui sumber DC. Berbeda dengan penguatan sendiri tahanan geser medan pada penguatan terpisah dihubungkan secara seri dengan medan agar dapat mengubah *eksitasi* medannya. Konstruksi pada generator yang memiliki daya yang besar adalah kutub kutub berputar pada porosnya dan belitan jangkar

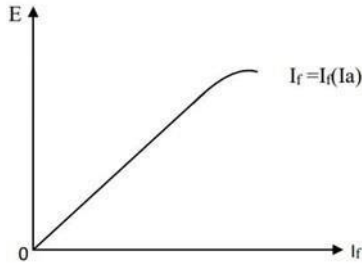
dipasang pada stator (bagian yang tidak bergerak). Maka daya penguatan yang berupa arus searah yang di dapatkan dari baterai dihubungkan ke lilitan medan melalui sikat dan cincin geser, seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 10. Diagram Generator Penguatan Terpisah

Belitan jangkar (R.S.T) terdapat pada stator sedangkan belitan medan terletak pada rotor dan arus searah didapatkan melalui sistem penguatan secara terpisah yang dihubungkan melalui cincin geser. Meskipun secara relatif, tetapi daya penguatan tidak besar sehingga cincin geser biasanya merupakan titik lemah dari generator yang menyebabkan tahanannya bertambah besar apabila sikat pada cincin geser kotor akibat arus listrik yang mengalir tidak sempurna sehingga akan menyebabkan busur api jika arus listrik yang mengalir terlalu besar.

Ketika beban bertambah, tegangan terminal akan berkurang dan gaya gerak listrik yang dibangkitkan berkurang sebanding dengan beban pada generator tersebut. Adanya pengaruh perlawanan medan jangkar yang mengakibatkan fluks medan utama melemah dan tegangan menurun yang disebabkan oleh tahanan jangkar. Seperti pada gambar berikut ini :



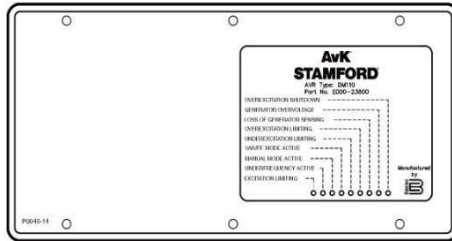
Gambar 11. Kurva penguatan terpisah dengan karakteristik luar

Tegangan bolak balik yang dihasilkan oleh generator melalui penyearah diode akan disearahkan dan menghasilkan arus yang searah kemudian di alirkan ke kutub kutub magnet medan generator utama. Besar arus searah tersebut di atur oleh pengatur tegangan otomatis atau AVR (*Automatic Voltage Regulator*).

2.9 Automatic Voltage Regulator (AVR)

AVR merupakan sebuah komponen listrik yang bekerja untuk menjaga keseimbangan atau stabilitas voltase dari sebuah generator. AVR juga dapat bekerja untuk menjaga kestabilan tegangan saat telah dipararelkan, sehingga yang dihasilkan oleh generator tetap terjaga dan tidak terpengaruh oleh beban yang *fluktuatif*.

secara umum AVR akan secara otomatis memperbesar arus penguatan pada *exciter* apabila tegangan output sebuah generator berada dibawah tegangan nominal generator. Begitupun sebaliknya AVR akan secara otomatis mengurangi arus pada penguatan *exciter* apabila tegangan output melebihi tegangan generator. Ketika beroperasi mempertahankan tegangan output yang konstan digunakan sebagai pembanding untuk mengendalikan medan eksitasi. AVR yang digunakan oleh PLTMG Panaran 2 adalah AVR STAMFORD Type : DM110



Gambar 12. AVR STAMFORD Type : DM110

2.10 Karakteristik Beban Generator

2.10.1 Generator Tanpa Beban

Apabila memutar generator pada kecepatan sinkron kemudian rotor di beri arus (I_f), maka tegangan (E_a) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator. Berikut ini adalah persamaan generator tanpa beban [9] :

$$E = C \cdot n \cdot \phi \quad (1)$$

Keterangan :

E = Tegangan yang diinduksikan (Volt)

C = Konstanta generator

n = Kecepatan putar (rpm)

ϕ = fluks yang dihasilkan oleh arus penguat (weber)

Maka, diperoleh,

$$C = \frac{Z}{60} \left(\frac{p}{a} \right) \quad (2)$$

$$E = \frac{\phi \cdot Z \cdot n}{60} \left(\frac{p}{a} \right) \quad (3)$$

Keterangan :

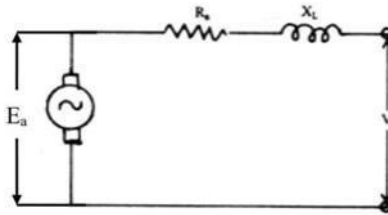
E = Tegangan induksi jangkar(volt)

C = Konstanta mesin Z = jumlah konduktor p = jumlah kutup

a = cabang jangkar

n = putaran sinkron (rpm)

ϕ = fluks yang dihasilkan oleh I_f (weber)



Gambar 13. Rangkaian ekivalen generator tanpa beban

2.10.2 Generator Berbeban

Ketika generator dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan menimbulkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar disebut reaktansi karena sifatnya reaktif atau disebut juga reaktansi *magnetasi* (X_m). Reaktansi *magnetansi* atau reaktansi pemagnet bersama dengan reaktansi fluks bocor dikenal sebagai reaktansi sinkron (X_s). berikut ini adalah persamaan pada generator berbeban:

$$E = V + I \cdot R_a + jI \cdot X_s \quad (4)$$

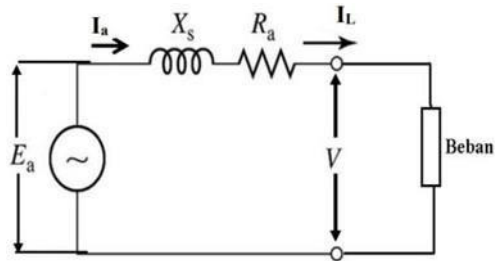
$$X_s = X_m + X_a \quad (5)$$

Keterangan :

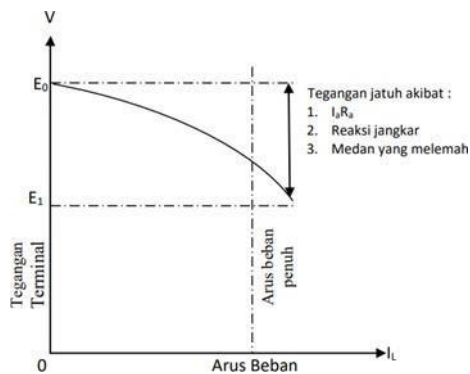
E = Tegangan induksi pada jangkar (Volt) V = Tegangan terminal output (Volt)

R_a = Resistansi Jangkar (Ohm) X_s = Reaktansi sinkron (ohm)

I = Arus jangkar (ampere)



Gambar 14. Rangkaian ekuivalen generator berbeban



Gambar 15. Karakteristik pembebanan generator

2.11 Kerja Pararel Generator

Kerja paralel generator dibutuhkan ketika beban pada stasiun pembangkit melampaui *rating* dari generator yang bekerja, oleh karena itu, pada kondisi tersebut generator lain diperlukan sebagai bantu menyediakan daya dari pembangkit yang dihubungkan secara paralel. Meparalelkan dua atau lebih generator untuk mendapatkan daya sebesar jumlah generator dengan syarat syarat yang telah ditentukan disebut dengan sinkronisasi generator.

Syarat syarat untuk melakukan pemparalelan sebuah generator sebagai berikut :

1. Memiliki urutan pada Fasa harus sama
2. Memiliki tegangan terminal harus sama
3. Memiliki sudut fasa yang sama
4. Memiliki Frekuensi kerja yang harus sama

Dengan syarat syarat diatas sebuah generator sudah dapat di kerjakan secara paralel. Namun perlu diketahui hal lain sebagai penjabaran syarat syarat tersebut. Seperti pada dibawah ini :

1. Memiliki urutan fasa yang sama
Urutan fasa merupakan arah putaran dari setiap fasa. Di dunia industri arah dari urutan fasa dikenal dengan nama *Clock Wise* (CW) yang artinya adalah searah jarum jam dan *Counter Clock Wise* (CCW) atau yang artinya berlawanan jarum jam. Pengukuran ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat fasa *sequence Type* jarum. Yang dimana apabila saat pengukuran, jarum bergerak berputar kekanan dinamakan CW dan jika jarum berputar ke kiri dinamakan CCW. Oleh karena itu sering dikenal urutan fasa seperti ABC dan CBA, dimana ABC merupakan CW atau searah jarum jam dan CBA adalah CCW atau berlawanan arah jarum jam. Banyak generator mencantumkan simbol R, S, T, Nataupun L1, L2, L3, N akan tetapi dengan begitu belum dapat dipastikan bahwa urutan ABC atau CW adalah RST maupun L1, L2, L3. Apabila dilakukan pengukuran urutan STR, TRS, L2, L3, L1 itu juga termasuk urutan CW/ABC. Sebagai contoh, Generator memiliki kabel penghantar yang berwarna hitam pada setiap kabelnya dan tidak memiliki kode. Dimana kita tidak dapat membedakan secara *visual* ataupun *parameter* bahwa penghantar tersebut adalah fasa R, S, atau T. Kita hanya dapat membedakan melalui arah urutannya saja yaitu CW atau CCW. Oleh karena itu, apabila generator memiliki arah urutan yang sama, maka generator tersebut dapat diartikan memiliki salah satu syarat paralel generator. Ketika dua generator memiliki urutan fasa RST dan yang satunya memiliki urutan fasa STR, itu tidak menjadi masalah karena kedua generator tersebut memiliki urutan fasa yang sama.
2. Tegangan terminalnya harus sama
Tegangan kerja yang sama ketika diparalelkan dengan beban kosong diharapkan memiliki hasil power faktornya 1, yang artinya apabila faktor daya memiliki nilai 1 maka tegangan pada 2 generator tersebut persis sama. Karena dua sumber merupakan sumber tegangan dinamis, maka akan terjadi *deviasi* naik dan turun secara *periodik* berlawanan dan bergantian. Hal ini dapat terjadi karena adanya sedikit perbedaan sudut fasa yang bergeser karena adanya gerak dinamis dari mesin penggerak. Cara buktikannya dapat dilihat dengan membaca putaran dari kedua generator secara

bersamaan dalam keadaan sinkron.

Contohnya apabila generator 1 (*leader*) memiliki kecepatan putar 429 dan generator 2 (*follower*) memiliki kecepatan putar 430, selisih dari kedua generator tersebut adalah 1 putaran per menit. Seperti perhitungan dibawah ini :

$$\Delta\phi = \frac{N_{Leader} - N_{Follower}}{N_{Follower}} \times 360^\circ \quad (6)$$

Dapat dihitung selisih tegangan :

$$\Delta V = \cos \Delta\phi x (V_{Leader} - V_{Follower}) \quad (7)$$

Keterangan :

$\Delta\phi$ = beda fasa

NL;NF = Kecepatan putar generator *leader;follower*

VL;VF = Tegangan terminal *leader;follower*

Selisih tegangan dapat mempengaruhi adanya arus antara kedua generator dan memiliki sifat magnet namun tidak berbahaya. Ketika di beri beban secara bersamaan faktor daya pada generator akan relatif sama atau sesuai dengan faktor daya pada beban. Biasanya tiap generator menunjukkan faktor daya yang sama. Generator masih dapat diparalelkan apabila selisih faktor daya tidak terlalu besar, akan tetapi hal itu dapat mengakibatkan nilai arus yang sedikit lebih tinggi pada satu generator yang memiliki nilai faktor daya yang rendah. Yang perlu di perhatikan yaitu tidak melebihi arus dan daya nominal pada generator.

Ketika generator bekerja paralel perubahan arus penguatan dapat merubah faktor daya, apabila arus penguatan di tambah nilai faktor daya akan mengecil menjauhi satu, dan begitu pula sebaliknya apabila arus penguatan di kurangi maka faktor daya akan membesar mendekati satu. Dengan menggunakan panel panel kontrol modern faktor daya akan seimbang dan menjadi sama secara otomatis dengan berapapun besar beban KW karena terdapat modul pengaturan VAR generator yang disambungkan pada AVR generator.

Sistem seperti ini digunakan untuk sistem paralel transfer beban baik antara generator ataupun dengan generator ke sistem. Kondisi seperti ini sedikit berbeda dengan dijelaskan diatas mengenai pembagian dan pengaturan faktor daya. Pada generator pembangkit listrik tenaga gas kw beban yang akan disuplai

dan kwh yang akan dikirim sudah ditentukan. Ketika mulai memparalelkan generator tegangan tidak harus sama, disebabkan oleh pengaturan kenaikan beban secara bertahap maka pengaturan penambahan penguatan juga bertahap sampai didapatkan faktor daya yang di kehendaki.

Faktor daya yang akan di operasikan dapat kita atur sendiri, tetapi pada umumnya faktor daya yang sering digunakan adalah 0,95. Perubahan faktor daya pada generator pembangkit listrik tenaga gas meskipun ada namun tidak begitu berpengaruh. Hal ini dapat di lihat menggunakan rumus daya aktif seperti berikut :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (8)$$

$$P_{total} = P_{beban} = PG1 + PG2 + \dots + PG \dots (9)$$

Dimana :

P_{total} = daya total (watt)

P_{Gn} = daya yang dihasilkan generator (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus beban (ampere) $\cos \phi$ = factor daya generator

Persamaan diatas, ketika beban arus dan daya yang dilayani berada pada posisi tetap atau tidak berubah maka faktor daya akan mengalami penurunan dan begitupun sebaliknya. Apabila salah satu generator menaikkan arus penguatan, tegangan pada generator tersebut akan naik. Ketika memparalelkan generator dengan generator lain yang sudah berbeban secara manual, tegangan harus disamakan dengan tegangan pada *line*. Ketika *breaker* pada posisi *close*, faktor daya pada generator akan menunjuk posisi 1 dan beban kW akan menunjuk posisi 0. Apabila daya *output* mesin ditambahkan secara perlahan, maka faktor daya akan menuju kapasitif (*leading*) dan *reverse power* akan mungkin terjadi. Untuk menghindari terjadinya hal tersebut setelah dilakukan proses sinkron, sistem penguatan (*eksitasi*) yang pertama dinaikkan hingga $\cos \phi$ mencapai nilai yang dibutuhkan. Setelah itu daya mesin dinaikkan menggunakan *speed adjuster*. Ketika beban sudah naik, $\cos \phi$ akan membesar mendekati satu. Secara bersamaan penguatan eksitasi akan terus dinaikkan hingga mencapai nilai yang dibutuhkan. Ketika generator bekerja secara paralel dengan yang lainnya, semua generator tersebut akan bekerja pada kecepatan sinkron dan seakan akan bergandengan secara mekanik. Untuk pembagian daya dari semua generator, jumlah generator yang akan dioperasikan tergantung pada jumlah beban yang di

layani. Untuk melakukan perolehan data beban harian pada pemakaian generator kita dapat menggunakan persamaan berikut :

$$P_{total} = P_{beban} = (\sum I_{beban}) \cdot (\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi) \quad (10)$$

$$I_{beban} = \frac{P_{beban}}{(\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi)} \quad (11)$$

$$I = \frac{P_{beban}}{\sum} \quad (12)$$

$$G = \frac{I}{N_G}$$

Keterangan :

P_{beban} = daya beban (Watt)

I_{beban} = arus beban (A)

V = Tegangan (Volt) $\cos \varphi$ = Faktor daya

I_G = Arus Generator (A)

N_G = Jumlah generator yang beroperasi

3. Memiliki sudut fasa sama

Memiliki sudut fasa sama yaitu ketika tiap fasa pada generator yang akan diparalelkan memiliki sudut fasa yang mendekati sama atau 0° . Namun pada kenyataannya mempunyai sudut yang mendekati sama tidak memungkinkan, apabila di lihat menggunakan *synchronoscope* jarum akan bergerak labil ke kiri dan ke kanan walaupun dari parameternya memiliki frekuensi yang sama. Sangat sulit untuk mendapatkan sudut berhimpit dalam jangka waktu 0,5 detik dengan kecepatan sudut radian tersebut. Sedangkan breaker membutuhkan waktu sekitar 0,3 detik untuk *close* ketika ada perintah untuk *close*.

4. Frekuensi Kerja Harus Sama

Umumnya dalam industri terdapat dua sistem frekuensi 50 Hz dan 60 Hz. Pada operasionalnya generator dapat memiliki sebuah frekuensi yang berubah karena ada faktor faktor tertentu. Ketika memparalelkan generator, semua generator tersebut tentu tidak memiliki frekuensi yang sama persis. Generator tidak dapat diparalelkan apabila semua generator memiliki frekuensi yang sama persis karena sudut phasa belum berhimpit pada 0° , ketika hal itu terjadi salah satu generator harus dikurangi atau dlebihkan sedikit untuk mendapatkan sudut fasa yang tepat. Kemudian semua

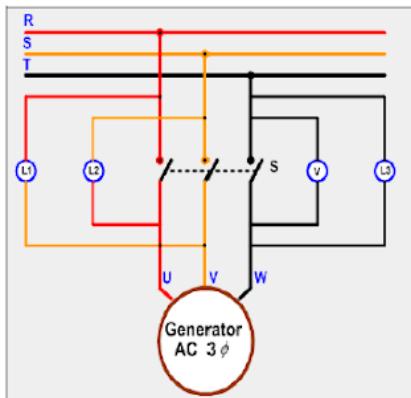
generator akan memiliki frekuensi yang sama persis ketika berhasil di sinkronkan.

2.12 Prinsip Kerja Memparalelkan Generator

Untuk memparalelkan generator ada beberapa syarat yang memiliki syarat syarat dibawah ini, yaitu :

1. Lampu berputar

Generator awal mulanya digerakkan oleh motor penggerak mendekati putaran nominalnya, lalu arus penguat akan diatur agar tegangan terminal generator sama dengan generator yang telah terkoneksi pada busbar. Terdapat alat pendeteksi berupa lampu *synchronoscope* hubungan terang untuk mendapatkan frekuensi, urutan fasa dan sistem. Apabila lampu berkedip atau hidup mati saat frekuensi pada *line* lebih tinggi daripada generator itu artinya urutan fasa tidak sama, jika yang terjadi sebaliknya ketika lampu sudah tidak berkedip itu menandakan bahwa frekuensi pada *line* sama dengan frekuensi pada generator.



Gambar 16. Pararel generator

2. Voltmeter, Frekuensi meter, dan *synchronoscope*

Umumnya pada pusat pembangkit tenaga listrik alat *synchronoscope* banyak digunakan sebagai indikator paralel pada generator. Alat ini dilengkapi dengan voltmeter yang fungsinya untuk memantau kesamaan tegangan pada generator dan terdapa juga frekuensi meter yang berfungsi untuk memantau kesamaan frekuensi. Pada *synchronoscope*

ketepatan sudut fasa dapat dilihat, apabila jarum penunjuk berputar dengan berlawanan arah jarum jam, berarti frekuensi pada generator lebih rendah dan sebaliknya jika searah dengan jarum jam maka, frekuensi pada generator lebih tinggi. Ketika jarum jam berada pada posisi vertikal, artinya terdapat beda fasa antara system dengan generator adalah 0 (nol) dan selisih pada frekuensi 0 (nol). Apabila sudah berada pada kondisi seperti ini *switch* akan diposisikan (ON).



Gambar 17. Synchronoscope

3. Paralel Otomatis

Cara ini adalah cara yang paling mudah dan praktis, karena pada sistem pemparalelan generator ini biasanya menggunakan alat yang akan memantau dan mengatur perbedaan fasa, tegangan, frekuensi, dan urutan fasa secara otomatis. Ketika kondisi tersebut sudah sesuai dengan yang ditentukan alat akan memberi sinyal bahwa saklar untuk paralel dapat dimasukkan.

2.13 Efisiensi Generator

Efisiensi adalah suatu cara atau usaha dalam menjalankan sesuatu untuk menghasilkan suatu hal dengan maksimal. Suatu peralatan atau mesin yang mengubah energi tidak mungkin dapat mengubah seluruh energi yang diterimanya (daya masukan /Pin) menjadi energi yang diharapkan (daya keluaran /Pout). Sebagian energi akan diubah menjadi energi yang tidak diharapkan. Proses tersebut merupakan sifat alami sehingga ditemukan konsep efisiensi (daya guna). Efisiensi generator adalah perbandingan antara daya output generator dengan daya input generator. Daya masukan generator merupakan daya keluaran mesin gas karena mesin gas dikopel dengan generator untuk menggerakkan generator.[8]

Perhitungan efisiensi pada generator sinkron secara langsung (*direct*) dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\% \quad (12)$$

Dimana :

P_{in} = Daya masuk (Watt)

P_{out} = Daya keluar (Watt)

π = Efisiensi generator

2.13.1 Faktor Efisiensi Generator

Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efisiennya suatu Generator adalah

A. Umur pemakaian Generator

Semakin lama umur suatu Generator, maka semakin berkurang efisiensi suatu Generator

B. Tingkat pemakaian Generator (beban)

Semakin tinggi beban (beban puncak) yang sering di terima Generator, maka semakin menurun efisiensi suatu Generator.

C. Perawatan atau pemeliharaan Generator

Pemeliharaan yang rutin (preventive maintenance) dilakukan untuk memastikan keandalan suatu Generator, dan dapat membantu suatu mesin dapat berkerja secara lebih efisien, serta dapat meminimalisir ataupun menghilangkan kemungkinan terjadinya gangguan ataupun suatu kerusakan.

2.14 Daya dan Faktor Daya

Daya adalah suatu energi yang digunakan untuk melakukan suatu usaha. Dalam suatu sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang

digunakan Untuk melakukan suatu kerja atau usaha. Daya dinyatakan dengan simbol "P" dan dengan satuan Watt. Daya pada listrik arus bolak-balik ada tiga jenis yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu.

2.14.1 Daya Aktif (P)

Daya aktif (*active power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi yang sebenarnya, daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam suatu bentuk kerja. Disimbolkan dengan "P" dan satuannya adalah Watt.

Dimana dalam perhitungan phasa :

$$P = V \times I \times \cos \varphi \text{ (1 Phase)} \quad (14)$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \text{ (3 Phase)} \quad (15)$$

2.14.2 Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif (*reactive power*) adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan suatu medan magnet, dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Disimbolkan dengan "Q" dan satuannya adalah Var.

Dimana dalam perhitungan phasa :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ (1 Phase)} \quad (16)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ (3 Phase)} \quad (17)$$

2.14.3 Daya Nyata (S)

Daya Nyata (Apparent Power) adalah sebuah daya yang diperoleh dari perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil dari perjumlahan trigonometri daya aktif dan reaktif.[6]

Disimbolkan dengan "S" dan satuannya adalah Volt-Ampere (VA). Daya nyata biasa menyatakan kapasitas peralatan listrik, seperti yang tertera pada peralatan generator dan transformator.

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ [VA]} \quad (18)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (19)$$

Dimana :

V = Tegangan (volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

$\text{Cos } \varphi = \text{Faktor Daya}$

$\text{Sin } \varphi = \text{Faktor Reaktif}$

2.14.4 Faktor Daya

Faktor daya ($\text{Cos } \varphi$) adalah suatu rasio perbandingan antara daya aktif (watt) dan daya nyata (VA) yang dipergunakan dalam rangkaian AC atau beda sudut fasa antara V dan I biasanya dinyatakan dalam $\text{cos } \varphi$. Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu yaitu range 0–1 tetapi dapat juga dinyatakan dalam bentuk persen. Faktor daya yang bagus nilainya mendekati satu. Faktor daya menggambarkan sudut phasa antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya yang rendah itu merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi. Perbaikan faktor daya ini menggunakan kapasitor.[7]

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya aktif (P)}}{\text{Daya nyata}} \quad (20)$$

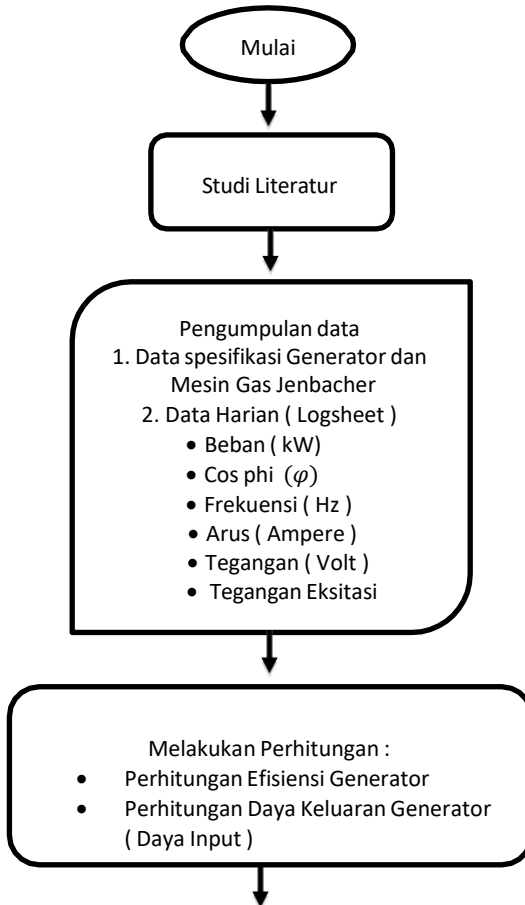
$$\text{Faktor Daya} = \frac{V.I.\text{Cos } \varphi}{V.I} \quad (21)$$

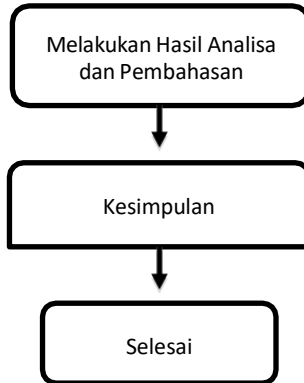
$$\text{Faktor Daya} = \text{Cos } \varphi \quad (22)$$

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Alur Penelitian

Metode penelitian yang penulis gunakan untuk penelitian ini adalah jenis penelitian langsung yaitu untuk mengumpulkan data-data dan informasi yang relevan dengan cara observasi di PT.Maxpower Panaran. Oleh Karena itu untuk lebih lanjut peneliti melampirkan diagram alur penelitian dibawah ini.





Gambar 18. Diagram Alir (Flowchart)

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode kuantitatif, data yang dikumpulkan berupa angka-angka yang diperoleh dari hasil pengukuran dalam penelitian ini, dan hasil pengumpulan data tersebut dianalisis melalui perhitungan.

3.2 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mencari referensi mengenai daya masuk generator dan efisiensi generator. Referensi diambil dari berbagai jurnal, *e-book*, buku, dan berbagai karya ilmiah. Ditahap ini penulis juga akan berdiskusi dengan pembimbing lapangan yang memiliki pengetahuan terkait tugas akhir.

3.3 Analisa Data

Setelah data yang dibutuhkan terkumpul, selanjutnya melakukan Analisa data dengan cara berikut :

- A. Melakukan perhitungan efisiensi generator unit 3 dan unit 7
- B. Melakukan perhitungan daya Keluaran generator unit 3 dan unit 7
- C. Membandingkan efisiensi kedua unit generator

3.4 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara pengamatan dan pencatatan langsung di Office (Ruang Control Operator) kemudian mencatat data – data

yang diperlukan. adapun parameter – parameter yang dicatat pada saat penelitian sebagai berikut :

- beban (Watt)
- frekuensi (Hz)
- faktor daya ($\cos \phi$)
- tegangan (Volt)
- arus (Amper)
- Tegangan eksitasi

Metode pengambilan data di PT Maxpower Panaran Batam berdasarkan untuk mendapatkan data, maka data-data yang diperlukan ada 2 yaitu data primer dan data sekunder.

3.4.1 Data Primer

Data Primer adalah data yang dikumpulkan atau diperoleh dengan cara langsung terjun ke lapangan (Modul Room).pengumpulan data dilakukan dengan pengambilan data pembebanan harian secara langsung.data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

1. Data daily record generator unit 3 pada bulan Januari 2024 PLTMG Maxpower Panaran. Data yang diperlukan seperti, Beban (kW), $\cos \phi$, Frekuensi (Hz),Arus (Ampere),Tegangan (Volt) dan Tegangan Eksitasi
2. Data daily record generator unit 7 pada bulan Januari 2024 PLTMG Maxpower Panaran. Data yang diperlukan seperti, Beban (kW), $\cos \phi$, Frekuensi (Hz),Arus (Ampere),Tegangan (Volt) dan Tegangan Eksitasi

3.4.2 Data Sekunder

data sekunder ini merupakan data yang sifatnya mendukung keperluan data primer seperti manual book, literatur dan bacaan yang berkaitan dengan objek yang akan menjadi pembahasan. Data sekunder dalam penelitian ini yaitu pengumpulan data spesifikasi generator dan data spesifikasi mesin gas Jenbacher yang diperoleh dari manual book, serta dapat diperoleh secara tidak langsung dengan mempelajari buku-buku referensi, laporan-laporan, jurnal- jurnal kualitatif, dan media lainnya berkaitan dengan objek yang akan diteliti.

3.5 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PLTMG Maxpower Panaran Engine unit 3 dan unit 7 berlokasi Tembesi, Kecamatan Sagulung, Kota Batam, Kepulauan Riau 29472

3.6 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 7 Hari (1 Minggu) dimulai pada tanggal 8 januari s/d 16 januari 2024

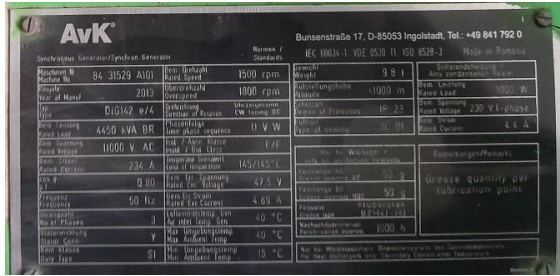
3.7 Data Spesifikasi Peralatan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data spesifikasi generator Dan Data spesifikasi mesin gas jenbacher.

3.7.1 Data Spesifikasi Generator Avk Type DIG142

Tabel 1. Spesifikasi Generator PLTMG Maxpower Panaran unit 3 dan unit 7

Manufacture	Cummins Power
Machine Number	84 31657 1101
Year of Manufacture	2013
Type	DIG142 e/4
Rated Load	4450 kVA
Rated voltage	10500 V
Cos phi	0.80
Frequency	50 Hz
Standard	IEC 60034-1
Weight	9.8 t.
Type of Cooling	IC 01



Gambar 19. Name plate generator Avk Type DIG 142

3.7.2 Data Spesifikasi Engine Gas Jenbacher

Tabel 2. Spesifikasi Engine Gas PLTMG Maxpower Panaran

Type	JGS 620 - L
Serial No.	S/N 1021962
Modul Number	J P213
Berat (KG)	23,000 kg
Keluaran Listrik	3.360 kW
Tegangan	6,300 V
Efisiensi Termal	46,6%
Panjang	7,000 mm
Lebar	2,400 mm
Tinggi	2,600 mm
Jumlah silinder	20
Bore	190 mm
Stroke	220 mm
Kecepatan Nominal	1,500 rpm

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Penelitian

Tabel 3. Data Pembebanan Harian Generator unit 3 dan unit 7

Data Pembebanan Generator unit 3. 8 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	3000	0.9	50.0	161	11,316	33,2
12:00	2500	0.9	50.0	131	11,314	28,4
16:00	2600	0.9	50.0	143	11,198	28,7
20:00	3000	0.9	50.0	161	11,393	33
Data Pembebanan Generator unit 7. 8 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	2500	0.9	50.0	128	11,407	22,2
12:00	2000	0.9	50.0	108	11,404	19,8
16:00	2500	0.9	50.0	128	11,408	22,3
20:00	3100	0.9	50.0	167	11,48	32,1
Data Pembebanan Generator unit 3. 9 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	2700	0.9	50.0	157	11,227	29,6
12:00	2800	0.9	50.0	159	11,327	30,8
16:00	3000	0.9	50.1	164	11,394	33
20:00	3000	0.9	50.1	164	11,394	33
Data Pembebanan Generator unit 7. 9 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	2700	0.9	50.0	143	11,426	26,4
12:00	3000	0.9	50.0	165	11,471	30,9
16:00	3100	0.9	50,2	167	11,484	32,1
20:00	3100	0.9	50,2	169	11,484	32,4
Data Pembebanan Generator unit 3. 10 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	3000	0.9	50.0	165	11,394	33,1
12:00	3000	0.9	50.0	164	11,394	33,1
16:00	3000	0.9	50.0	164	11,394	33,1
Data Pembebanan Generator unit 7. 10 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	-	-	-	-	-	-
12:00	3200	0.9	50.0	171	11,488	33,4
16:00	3200	0.9	50,2	171	11,484	33,4
Data Pembebanan Generator unit 3. 11 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	-	-	-	-	-	-
12:00	2800	0.9	50.1	159	11,321	30,4
16:00	3000	0.9	50.1	164	11,394	33,1
Data Pembebanan Generator unit 7. 11 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	-	-	-	-	-	-
12:00	3200	0.9	50.0	171	11,488	33,6
16:00	3300	0.9	50,2	184	11,496	34,4
Data Pembebanan Generator unit 3. 12 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	2700	0.9	50.0	156	11,227	29,7
12:00	2000	0.9	50.0	109	11,094	19,6
16:00	2000	0.9	50.1	109	11,094	19,6
20:00	3000	0.9	50.0	162	11,939	33,3
Data Pembebanan Generator unit 7. 12 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	3300	0.9	50.0	185	11,497	34,3
12:00	3200	0.9	50.1	171	11,488	33,6
16:00	3300	0.9	50,2	185	11,497	34,2
20:00	3300	0.9	0.9	186	11,497	34,1
Data Pembebanan Generator unit 3. 13 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	2400	0.9	50.0	121	11,223	27,8
12:00	2000	0.9	50.0	108	11,094	19,8
16:00	2800	0.9	50.1	159	11,319	30,4
20:00	3000	0.9	50.1	163	11,393	32,9
Data Pembebanan Generator unit 7. 13 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	2500	0.9	50.0	127	11,407	22,2
12:00	3100	0.9	50.0	164	11,481	32,1
16:00	3100	0.9	50,2	164	11,481	32,1
20:00	3100	0.9	50.0	164	11,481	32,1
Data Pembebanan Generator unit 3. 16 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	2400	0.9	50.0	120	11,196	27,4
12:00	3000	0.9	50.1	165	11,392	32,7
16:00	3000	0.9	50.0	164	11,392	32,7
20:00	3000	0.9	50.1	167	11,392	32,7
Data Pembebanan Generator unit 7. 16 Januari 2024						
Jam	Beban (Kw)	Cos phi	Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tegangan Eksitasi (Ue)
08:00	2800	0.9	50.0	157	11,444	27,8
12:00	2800	0.9	50.1	157	11,444	27,8
16:00	3200	0.9	50,2	171	11,479	33,1
20:00	3300	0.9	50,2	184	11,496	34,5

Data pembebanan yang diperoleh untuk perhitungan adalah data pembebanan harian generator unit 3 dan unit 7 Panaran 2 PLTMG Maxpower Panaran setiap 4 jam sekali, pengambilan data pembebanan harian dimulai pada 8 Januari hingga 16 Januari 2024. Dapat dilihat pada Tabel 3. Bahwa terjadi perubahan beban pada generator unit 3 dan generator unit 7. Namun beban pada unit 3 lebih konstan dibandingkan generator unit 7. Seperti pada sebelumnya ketika beban generator naik maka arus pembebanan dan tegangan eksitasi generator juga akan naik. Tegangan dan frekuensi generator unit 7 rata-rata lebih besar dibandingkan dengan generator unit 3 dengan nilai tegangan rata-rata sekitar 11,496 V dan frekuensi 50.2 Hz saat terjadi perubahan beban.

Sedangkan untuk Daya yang dibangkitkan generator unit 3 lebih rendah dibandingkan generator unit 7. Pada generator unit 7 beban rata-rata yang tertinggi dibangkitkan sebesar 3300 kW dengan arus pembebanan 184 A dan tegangan eksitasi sebesar 34,5 V. Sedangkan untuk beban tertinggi generator unit 3 sebesar 3000 kW dengan arus pembebanan 167 A dan tegangan eksitasi 32,7 V. Sementara beban terendah yang dibangkitkan generator unit 7 rata-rata sebesar 2800 kW dengan arus pembebanan 157 A dan tegangan eksitasi 27,8 V. Dan beban terendah yang dibangkitkan generator unit 3 rata-rata sebesar 2400 kW hingga 2500 kW dengan arus pembebanan 120 A dan tegangan eksitasi 27,4 V.

4.2 Perhitungan Efisiensi Generator Berdasarkan Data Spesifikasi

4.2.1 Perhitungan Efisiensi generator unit 3

Pada PLTMG Maxpower Panaran, penggerak mula generator sinkron adalah mesin gas yang dihubungkan seporos dengan generator, sehingga daya keluaran dari mesin gas merupakan daya masuk generator. maka diperoleh data :

$$P_{\text{out mesin gas}} = P_{\text{in generator}}$$

Berdasarkan rumus (15) maka diperoleh perhitungan maka diperoleh perhitungan daya keluaran generator adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{\text{out generator}} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \\ &= \sqrt{3} \times 11,316 \times 190 \times 0,90 \\ &= 3351580 \text{ Watt} \\ &= 3,351 \text{ Mw} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh besar nilai efisiensi generator dengan rumus (12) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \eta_{\text{generator}} &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \% \\ &= \frac{3.351}{3.431} \times 100 \% \\ &= 97,66 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan data spesifikasi nilai efisiensi generator sinkron unit 3 PLTMG Panaran adalah sebesar **97,66 %**

4.2.2 Perhitungan Efisiensi generator unit 7

Pada PLTMG Maxpower Panaran, penggerak mula generator sinkron adalah mesin gas yang dihubungkan seporos dengan generator, sehingga daya keluaran dari mesin gas merupakan daya masuk generator. maka diperoleh data :

$$P_{\text{out mesin gas}} = P_{\text{in generator}}$$

Berdasarkan rumus (15) maka diperoleh perhitungan maka diperoleh perhitungan daya keluaran generator adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{\text{out generator}} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \\ &= \sqrt{3} \times 11,347 \times 190 \times 0,90 \\ &= 3360762 \text{ Watt} \\ &= 3,360 \text{ Mw} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh besar nilai efisiensi generator dengan rumus (12) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \eta_{\text{generator}} &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \% \\ &= \frac{3.360}{3.431} \times 100 \% \\ &= 97,93 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan data spesifikasi nilai efisiensi generator sinkron unit 7 PLTMG Panaran adalah sebesar **97,93 %**

4.3 Perhitungan Efisiensi Generator Berdasarkan Data Harian

4.3.1 Perhitungan Efisiensi generator unit 3

Berdasarkan data log sheet pada tanggal 8 januari 2024 pukul 08:00 besar nilai efisiensi generator sinkron unit 3 PLTMG Panaran dengan rumus (12) adalah sebagai berikut :

$$\eta_{\text{generator}} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$= \frac{3.000}{3.431} \times 100 \%$$

$$= 87,43 \%$$

Maka berdasarkan data harian nilai efisiensi generator sinkron unit 3 PLTMG Panaran adalah sebesar **87,43 %**

4.3.2 Perhitungan Efisiensi generator unit 7

Berdasarkan data log sheet pada tanggal 8 januari 2024 pukul 16:00 besar nilai efisiensi generator sinkron unit 7 PLTMG Panaran dengan rumus (12) adalah sebagai berikut :

$$\eta_{\text{generator}} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$= \frac{3.100}{3.431} \times 100 \%$$

$$= 90,35 \%$$

Maka berdasarkan data harian nilai efisiensi generator sinkron unit 3 PLTMG Panaran adalah sebesar **90,35 %**

4.4 Hasil Analisa

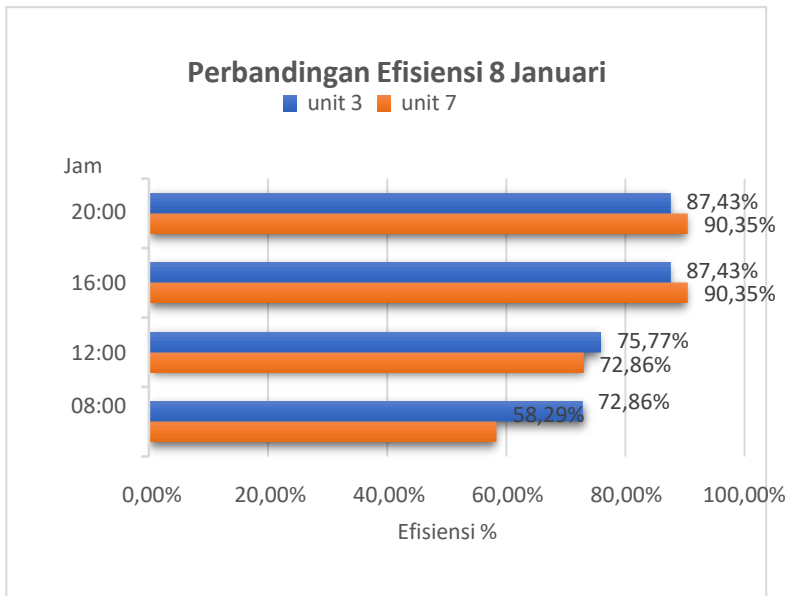
4.4.1 Hasil Analisa Daya Input dan Perbandingan Efisiensi Unit 3 dan Unit

7. 8 Januari hingga 16 Januari 2024

Tabel 4. Hasil Daya Input dan Perbandingan efisiensi unit 3 dan unit 7

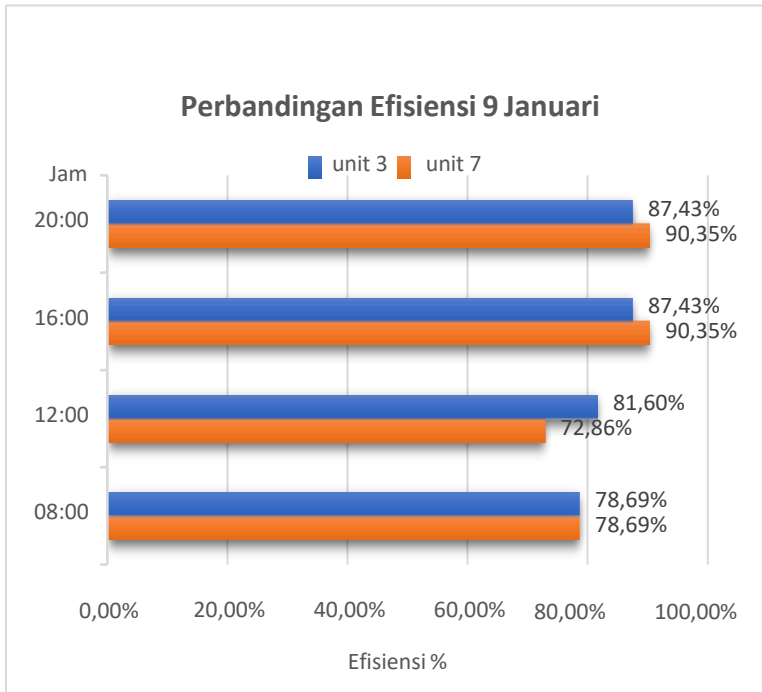
Hasil Perhitungan Daya Input dan Perbandingan Efisiensi 8 Januari 2024							
No.	Waktu	Unit 3			Unit 7		
		P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)	P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)
1.	08:00	2500	3434	72,86	2000	3438	58,29
2.	12:00	2600	3436	75,77	2500	3436	72,86
3.	16:00	3000	3435	87,43	3100	3435	90,35
4.	20:00	3000	3456	87,43	3100	3435	90,35
Hasil Perhitungan Daya Input dan Perbandingan Efisiensi 9 Januari 2024							
No.	Waktu	Unit 3			Unit 7		
		P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)	P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)
1.	08:00	2700	3436	78,69	2700	3437	78,69
2.	12:00	2800	3434	81,6	3000	3433	87,43
3.	16:00	3000	3436	87,43	3100	3432	90,35
4.	20:00	3000	3436	87,43	3100	3100	90,35
Hasil Perhitungan Daya Input dan Perbandingan Efisiensi 10 Januari 2024							
No.	Waktu	Unit 3			Unit 7		
		P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)	P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)
1.	08:00	3000	3436	87,43	3200	3438	93,31
2.	12:00	3000	3436	87,43	3200	3437	93,29
3.	16:00	3000	3436	87,43	3200	3435	93,28
Hasil Perhitungan Daya Input dan Perbandingan Efisiensi 11 Januari 2024							
No.	Waktu	Unit 3			Unit 7		
		P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)	P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)
1.	08:00	-	-	-	-	-	-
2.	12:00	3000	3437	87,45	3300	3437	96,21
3.	16:00	3000	3436	87,46	3300	3435	96,22
Hasil Perhitungan Daya Input dan Perbandingan Efisiensi 12 Januari 2024							
No.	Waktu	Unit 3			Unit 7		
		P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)	P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)
1.	08:00	2700	3436	78,69	3300	3434	96,18
2.	12:00	2000	3433	58,29	3200	3436	93,26
3.	16:00	2000	3435	58,29	3300	3433	96,18
4.	20:00	3000	3435	87,43	3300	3433	96,18
Hasil Perhitungan Daya Input dan Perbandingan Efisiensi 15 Januari 2024							
No.	Waktu	Unit 3			Unit 7		
		P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)	P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)
1.	08:00	2400	3436	69,95	2500	3438	72,86
2.	12:00	2000	3432	58,29	3100	3436	90,35
3.	16:00	2800	3437	81,6	3100	3437	90,36
4.	20:00	3000	3435	87,44	3100	3436	90,35
Hasil Perhitungan Daya Input dan Perbandingan Efisiensi 16 Januari 2024							
No.	Waktu	Unit 3			Unit 7		
		P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)	P_{out} (kW)	P_{in} (kW)	η (%)
1.	08:00	2400	3437	69,95	2800	3437	81,6
2.	12:00	3000	3438	87,43	2800	3436	81,6
3.	16:00	3000	3434	87,43	3200	3434	93,26
4.	20:00	3000	3434	87,43	3300	3345	96,18

Berdasarkan pada gambar 20. Efisiensi generator berbanding lurus dengan beban yang dibangkitkan generator, karena semakin besar beban yang dibangkitkan generator maka generator akan bekerja lebih optimal sesuai dengan kapasitasnya, sehingga dapat dilihat bahwa efisiensi generator unit 7 lebih tinggi dibandingkan efisiensi generator unit 3. Efisiensi tertinggi generator unit 7 saat jam 16:00 sebesar 90,35 % pada beban 3100 kW dan efisiensi terendahnya pada jam 08:00 pagi, pada beban 2000 kW sebesar 58,29 % sedangkan pada generator unit 3 efisiensi tertinggi nya pada jam 16:00 sebesar 87,43 % pada beban 3000 kW dan efisiensi terendah nya sebesar 72,86 % pada beban 2500 kW



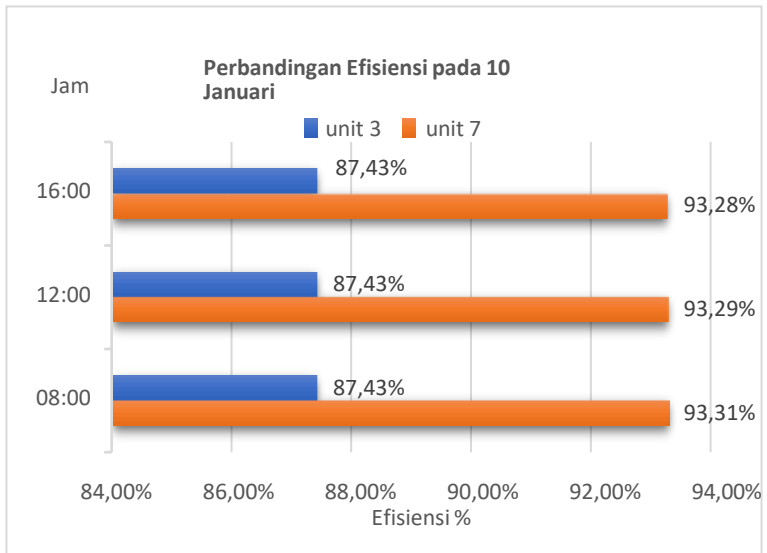
Gambar 20. Grafik bar perbandingan efisiensi pada 8 Januari 2024

Berdasarkan pada gambar 21. Efisiensi generator berbanding lurus dengan beban yang dibangkitkan generator karena semakin besar beban yang dibangkitkan generator maka generator akan bekerja lebih optimal sesuai dengan kapasitasnya, sehingga dapat dilihat bahwa efisiensi generator unit 7 lebih tinggi dibandingkan efisiensi generator unit 3. efisiensi tertinggi generator unit 7 saat jam 16:00 sebesar 90,35 % pada beban 3100 kW dan efisiensi terendahnya pada jam 08:00 pagi, pada beban 2700 kW sebesar 78,69 % sedangkan pada generator unit 3 efisiensi tertinggi nya sebesar 87,43 % pada beban 3000 kW dan efisiensi terendahnya sebesar 78,69 % pada beban 2700 kW.



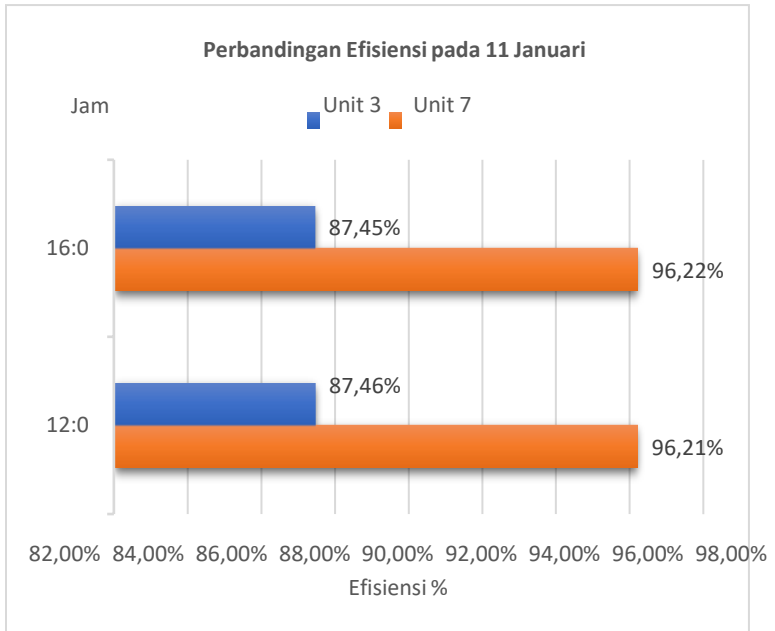
Gambar 21. Grafik bar perbandingan efisiensi pada 9 Januari 2024

Berdasarkan Gambar 22. Efisiensi generator berbanding lurus dengan beban yang dibangkitkan generator, karena semakin besar beban yang dibangkitkan generator maka generator akan bekerja lebih optimal sesuai dengan kapasitasnya, sehingga dapat dilihat bahwa efisiensi generator unit 7 lebih tinggi dibandingkan efisiensi generator unit 3. efisiensi tertinggi generator unit 7 sebesar 93,31 % pada jam 08:00 dengan beban sebesar 3200 kW sedangkan pada generator unit 3 efisiensi rata – rata pada 10 januari sebesar 87,43 %



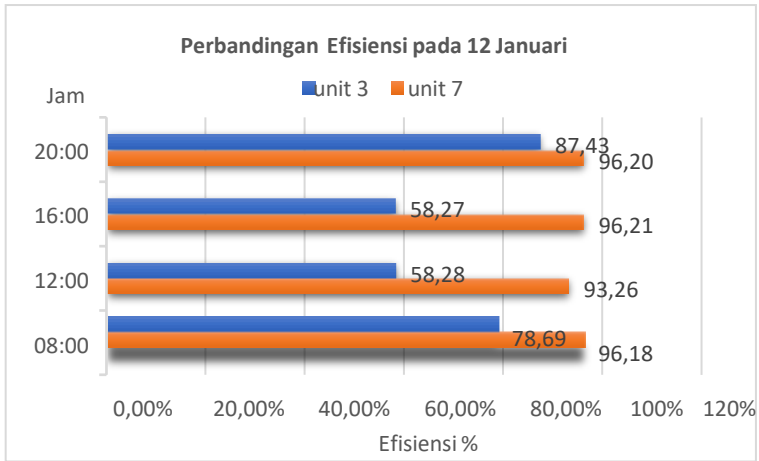
Gambar 22. Grafik bar perbandingan efisiensi pada 10 januari 2024

Berdasarkan pada Gambar 23. Terdapat Data yang kosong “-“ mengartikan bahwa pembangkit tidak beroperasi dikarenakan tidak adanya permintaan beban dari BCC, Batam Control Center (Unit pengatur Beban). dapat dilihat bahwa efisiensi generator unit 7 lebih tinggi dibandingkan efisiensi generator unit 3. efisiensi tertinggi generator unit 7 saat jam 16:00 sebesar 96,22 % pada beban 3300 kW dan efisiensi tertinggi generator unit 3 sebesar 87,46 % pada beban 3000 kW.



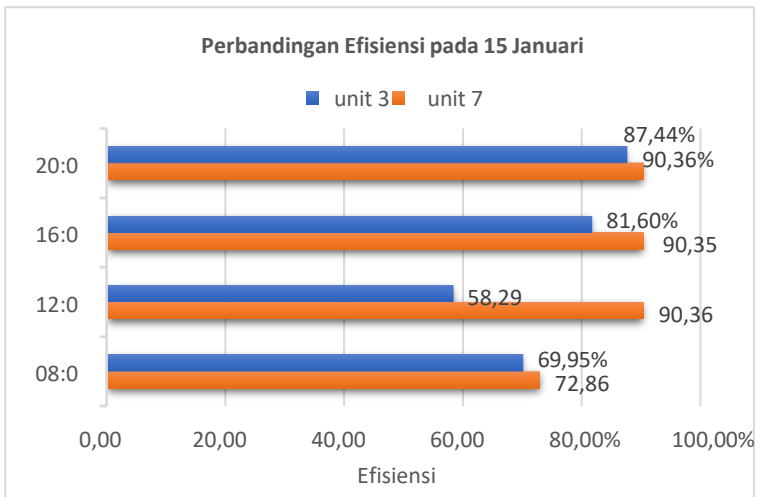
Gambar 23. Grafik bar perbandingan efisiensi pada 11 Januari 2024

Berdasarkan pada gambar 24. Efisiensi generator berbanding lurus dengan beban yang dibangkitkan generator, karena semakin besar beban yang dibangkitkan generator maka generator akan bekerja lebih optimal sesuai dengan kapasitasnya, sehingga dapat dilihat bahwa efisiensi generator unit 7 lebih tinggi dibandingkan efisiensi generator unit 3. Efisiensi tertinggi generator unit 7 saat jam 08:00 sebesar 96,18 % pada beban 3300 kW dan efisiensi terendah nya pada jam 12:00 siang sebesar 93,26 %, pada beban 3200 kW sedangkan pada generator unit 3 efisiensi tertinggi nya sebesar 87,43 % pada jam 20:00 malam pada beban 3000 kW dan efisiensi terendahnya sebesar 58,29 % pada beban 2000 kW.



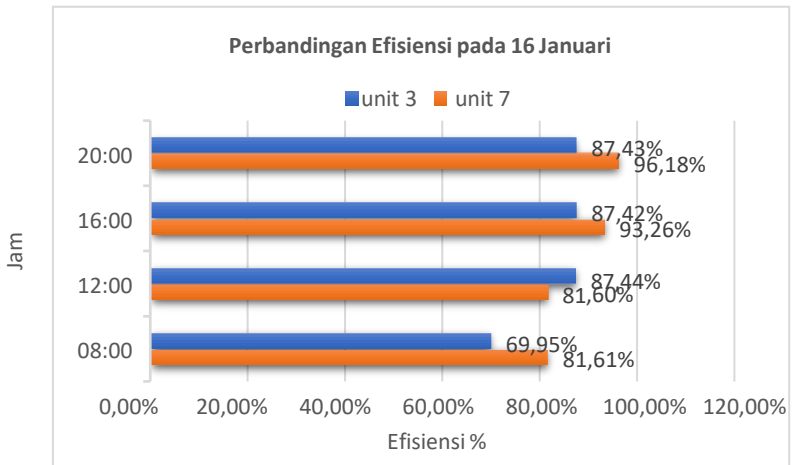
Gambar 24. Grafik bar perbandingan efisiensi pada 12 Januari 2024

Berdasarkan pada gambar 25. Efisiensi generator berbanding lurus dengan beban yang dibangkitkan generator, karena semakin besar beban yang dibangkitkan generator maka generator akan bekerja lebih optimal sesuai dengan kapasitasnya, sehingga dapat dilihat bahwa efisiensi generator unit 7 lebih tinggi dibandingkan efisiensi generator unit 3. Efisiensi tertinggi generator unit 7 saat jam 16:00 sebesar 90,36 % pada beban 3100 kW dan efisiensi terendahnya pada jam 08:00 pagi sebesar 72,86 %, pada beban 2500 kW sedangkan pada generator unit 3 efisiensi tertingginya sebesar 87,44 % pada jam 20:00 malam pada beban 2400 kW dan efisiensi terendahnya sebesar 58,29 % pada beban 2000 kW.



Gambar 25. Graфик bar perbandingan efisiensi pada 15 Januari 2024

Berdasarkan pada gambar 26 dan Tabel 23. dapat dilihat bahwa efisiensi generator unit 7 lebih tinggi dibandingkan efisiensi generator unit 3. efisiensi tertinggi generator unit 7 saat jam 20:00 sebesar 96,18 % pada beban 3300 kW dan efisiensi terendahnya pada jam 08:00 pagi sebesar 81,60 %, pada beban 2800 kW sedangkan pada generator unit 3 efisiensi tertinggi nya sebesar 87,43 % pada jam 20:00 malam pada beban 3000 kW dan efisiensi terendahnya sebesar 69,95 % pada beban 2400 kW.



Gambar 26. Grafik bar perbandingan efisiensi pada 16 januari 2024

Bab. 5 Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa penulis, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- A. Berdasarkan data spesifikasi, diperoleh efisiensi unit 7 sebesar 97,93 % dan efisiensi unit 3 sebesar 97,66%.
- B. Berdasarkan data harian diperoleh rata-rata efisiensi unit 7 sebesar 90,35%, dengan efisiensi tertinggi sebesar 96,22 % dan yang terendah sebesar 73,68 %. Dan diperoleh rata-rata efisiensi unit 3 sebesar 87,43 % dengan efisiensi tertinggi sebesar 87,43 dan yang terendah sebesar 58,29 %.
- C. Baik berdasarkan data spesifikasi ataupun data harian, efisiensi generator diPLTMG Maxpower Panaran pada unit 7 lebih baik dibandingkan pada unit 3.
- D. agar efisiensi generator tidak menurun usahakan untuk mengoperasikan generator pada beban yang optimal sesuai dengan kapasitas nya, overloading generator dapat mengurangi dan mempercepat keausan komponen
- E. pemantauan suhu bearing dan winding generator agar generator bekerja dengan normal dan dalam batas yang aman.
- F. memonitoring kinerja generator secara berkala, dengan memantau secara berkala,dapat mendeteksi masalah potensial sebelum menyebabkan kerusakan serius.

5.1 Saran

Dari keseluruhan kesimpulan yang telah dibuat, dapat diambil saran yang bersifat membangun yaitu

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengujian generator berbeban dengan membahas rugi-rugi daya generator.
2. Sebaiknya lebih banyak data yang akan dianalisa.
3. dilakukan lebih rutin untuk pemeriksaan dan perawatan pada generator, terutama untuk generator unit 3

Daftar Pustaka

- [1] A. Candra and S. Nurmutia, *Laporan Teknik Tenaga Listrik*, no. 1. 2020.
- [2] Muammar, Fauzan, and Zamzami, "Studi Proses Cooling Sistem Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas Di Pt. Pjb Ujomb Pltmg Arun," *J. Elektro*, vol. 06, no. 02, pp. 2–7, 2022.
- [3] A. Hidayat, "Analisis pengaruh beban terhadap efisiensi generator PLTU PT. Lestari Banten Energi," 201
- [4] M. Muharrir and I. Hajar, "Analisis Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 2 PLTP PT. Indonesia Power UPJP Kamojang," *Kilat*, vol. 8, no. 2, pp. 93–102, 2019, doi: 10.33322/kilat.v8i2.643.
- [5] M. farhan, R. hidayat and Y. saragih, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 PLTMH Curug," *Jurnal SIMETRİK*, vol. 11, no. 1, pp. 398-403, 2021.
- [6] H. elnizar, g. Heri and z. Osea, "Analisis Rugi-Rugi (Losses) Transformator Daya 150/20 KV di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sutami ULTG Tarahan," *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 15, no. 2, pp. 117-126, 2021.
- [7] R. septiyan, M. waruni kasrani and B. sugeng, "Analisa Hilang Daya Pada Generator Sinkron 3 Fasa (6.6 Kv) 11 Mva Type 1DT4038 –3EE02 –Z," *Jurnal Teknik Elektro UNIBA*, vol. 4, no. 1, pp. 7-11, 2019.
- [8] A. martha lestari, G. jatisukmanto and A. zainul muttaqin, "Analisis Efisiensi Pada Generator 12 Slot 8 Pole," *Jurnal ROTOR*, vol. 11, no. 1, pp. 35-38, 2018.
- [9] A. Annisa, W. Winarso, and W. Dwiono, "Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 1, no. 1, 2019, doi: 10.30595/jrre.v1i1.4928

Lampiran

Lampiran 1.

Melakukan pemantauan Generator Bearing Temperature DE dan NDE pada Engine unit 7 Panaran 2



Lampiran 2.
Generator sinkron pada Engine unit 7 Panaran 2.



Lampiran 3.
Tampak samping Generator Sinkron pada Engine unit 7 Panaran 2



Lampiran 4.

Modul Interface pada Engine unit 7 Panaran 2

