

ANALISA PERUBAHAN BEBAN TERHADAP KINERJA PADA GENERATOR UNIT 7 DI PT PLN NUSANTARA POWER

Dina Masyari¹, Taufik², Nazaruddin³

^{1,2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: dinamzdinamasyari@gmail.com, abu_tfk@yahoo.com.au, Nazar_aw@yahoo.com

Abstrak- PT. PLN Nusantara Power Unit Bisnis Operasi dan Maintenance Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) Arun yang di bangun oleh PT. PLN (Persero) di Desa Paloh Kecamatan Muara Satu, Kota Lhokseumawe telah tuntas pada 31 Desember tahun 2016. Setelah beroperasi arus listrik yang berkapasitas 184 MW, PLTMG Arun memasok lebih dari 50% kebutuhan listrik. Perubahan beban saat pembebanan perlu diketahui dan disesuaikan dengan kemampuan generator sehingga kestabilan generator dapat terjaga. Perubahan beban mempengaruhi rugi – rugi daya dan efisiensi generator. Tujuan melakukan penelitian ini untuk mengetahui bagaimana perubahan beban terhadap kinerja generator. Perubahan beban sangat berpengaruh terhadap rugi – rugi daya yang dihasilkan. Rugi – rugi daya terbesar dengan nilai 331.03 KW pada saat beban 9700 KW dan rugi – rugi daya terendah dengan nilai 277.04 KW pada saat beban 3000 KW. Didapatkan hasil bahwa semakin tinggi beban maka akan semakin tinggi juga rugi – rugi daya yang dihasilkan oleh generator sehingga dapat dapat berpengaruh terhadap efisiensi generator. Efisiensi terendah pada saat beban 3000 KW dengan persentase 1.071% dan efisiensi tertinggi pada beban 9700 KW dengan persentase 96.69%. Efisiensi akan sangat mempengaruhi kinerja dari generator, efisiensi generator yang semakin besar akan menyebabkan kinerja generator meningkat begitu juga sebaliknya efisiensi generator yang terendah akan menyebabkan kinerja generator menurun.

Kata-kata kunci: Rugi – rugi daya, Efisiensi generator

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik pada zaman sekarang akan terus meningkat dengan perkembangan ekonomi masyarakat, penambahan jumlah penduduk, peningkatan pembangunan dan kemajuan teknologi dengan berkembangnya suatu daerah. Maka dalam rangka memenuhi kebutuhan hidup masyarakat adalah salah satunya adalah kebutuhan energi listrik, dan dengan seiring berjalannya perkembangan teknologi yang canggih, maka kebutuhan energi listrik semakin meningkat yang sangat pesat di tandai dengan adanya pertumbuhan industri yang terus meningkat. Permintaan konsumen terhadap energi tersebut perlu disertai dengan adanya pembangunan pembangkit – pembangkit listrik yang akan di kelola oleh perusahaan swasta ataupun pemerintah.

Generator merupakan salah komponen utama dalam pembangkit listrik, yang berfungsi sebagai alat untuk merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Proses ini di kenal sebagai pembangkit listrik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Generator menghasilkan listrik karena berputar sehingga menghasilkan beda potensial pada medan magnetnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Generator Sinkron

Generator sinkron (altenator) adalah mesin listrik yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan perantara induksi medan magnet. Yang dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari

kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Mesin ini tidak dapat dijalankan sendiri karena kutub-kutub rotor tidak dapat tiba-tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu sakelar terhung dengan jala-jala.

Generator sinkron mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Adapun sumber dari energi mekanik tersebut adalah *prime mover*, baik mesin diesel, turbin uap, turbin gas, turbin air, atau perangkat sejenis lainnya. Tegangan output dari generator sinkron adalah tegangan bolak-bali, karena itu generator sinkron disebut juga generator AC. [1]

B. Prinsip Kerja Generator

Prinsip kerja antara generator DC dengan generator AC adalah untuk generator DC, kumparan jangkar ada pada bagian rotor dan terletak di antara kutub-kutub magnet yang tetap di tempat, diputar oleh tenaga mekanik. Pada generator sinkron, konstruksinya sebaliknya, yaitu kumparan jangkar disebut juga kumparan stator karena berada pada tempat yang tetap, sedangkan kumparan rotor bersama-sama dengan kutub magnet diputar oleh tenaga mekanik. Prinsip generator ini secara sederhana dapat dijelaskan bahwa tegangan akan diinduksikan pada konduktor apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya. Hukum tangan kanan berlaku pada generator dimana menyebutkan bahwa terdapat hubungan antara penghantar bergerak, arah medan magnet, dan arah resultan dari aliran arus yang terinduksi. Apabila ibu jari menunjukkan arah gerakan penghantar, telunjuk menunjukkan arah fluks, jari tangan menunjukkan arah

aliran elektron yang terinduksi. Hukum ini juga berlaku apabila magnet sebagai pengganti yang digerakkan.[1]

C. Jenis-jenis Generator

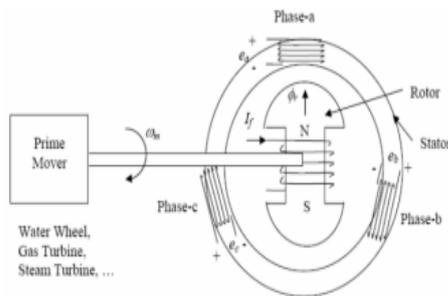
Adapun jenis-jenis generator listrik sebagai berikut :

1. Jenis generator berdasarkan kutubnya :
 - a. Generator kutub dalam : generator kutub dalam mempunyai medan magnet yang terletak pada bagian yang berputar (rotor).
 - b. Generator kutub luar : generator kutub luar mempunyai medan magnet yang terletak pada bagian yang diam (stator).
2. Jenis generator berdasarkan arus yang dibangkitkan:
 - a. Generator arus searah (DC)
 - b. Generator arus bolak-balik (AC)
3. Jenis generator berdasarkan putaran medan :
 - a. Generator sinkron adalah mesin listrik arus bolak-balik yang menghasilkan tegangan dan arus bolak-balik (AC) yang dapat merubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan adanya induksi medan magnet.
 - b. Generator asinkron adalah generator yang dapat menggunakan prinsip induksi elektromagnetik untuk pengoperasiannya. Generator induksi adalah mesin induksi yang bekerja sebagai generator.
4. Jenis generator berdasarkan jenis arus yang dibangkitkan :
 - a. Generator satu fasa
 - b. Generator tiga fasa [2]

D. Konstruksi Generator Sinkron

Konstruksi belitan medan pada bagian yang berputar dari belitan jangkar pada bagian yang diam telah menyederhanakan masalah isolasi generator sinkron, karena tegangan yang dibangkitkan dalam belasan kilo volt, maka tegangan tinggi ini tidak perlu dikeluarkan melalui cincin geser (*slip ring*) dan kotak geser. [2]

Pada generator ini mempunyai dua komponen yaitu stator (bagian diam) dan rotor (bagian bergerak). Bentuk gambaran sederhana konstruksi generator sinkron diperlihatkan pada gambar 1.



Gbr 1 Bentuk Sederhana Konstruksi Generator Sinkron

a. Batas Rugi-rugi Penyebab Pemanasan

Pertimbangan terhadap rugi-rugi mesin merupakan hal yang sangat penting, karena rugi-rugi dapat menentukan :

1. Rugi-rugi dapat menentukan efisiensi mesin dan cukup berpengaruh terhadap biaya pemakaiannya.
2. Rugi-rugi juga dapat menentukan pemanasan pada mesin sehingga dapat menentukan keluaran daya atau ukuran yang dapat diperoleh tanpa mempercepat keausan isolasi.
3. Jatuhnya tegangan atau komponen arus yang bersangkutan dengan rugi-rugi yang dihasilkan harus diperhitungkan dengan semestinya dalam penampilan mesin. Dengan mengetahui batas temperatur maksimum suatu isolasi yang digunakan dalam sebuah generator sinkron akhirnya dapat diketahui pengaruh yang terjadi pada saat rotor generator diberikan pendingin.[2]

b. Rugi – rugi Daya Pada Generator

Rugi – rugi daya pada generator sinkron terdiri dari rugi – rugi tembaga, rugi – rugi besi, dan rugi – rugi mekanik.

Rugi – rugi listrik dikenal juga dengan rugi – rugi tembaga yang terdiri dari kumparan armatur, kumparan medan. Rugi-rugi tembaga ditemukan pada semua belitan pada mesin di hitung berdasarkan pada tahanan dc dari lilitan pada suhu 75°C dan tergantung pada tahanan efektif dari lilitan pada fluks dan frekuensi kerjanya.

Rugi – rugi kumparan armatur ($P_{ar} = I_a^2 \cdot R_a$) sebesar sekitar 30 sampai 40% dari rugi-rugi total pada beban penuh. Sedangkan rugi-rugi, kumparan medan shunt ($P_{sh} = I_{sh}^2 \cdot R_{sh}$) bersama-sama dengan kumparan medan seri ($P_{sr} = I_{sr}^2 \cdot R_{sr}$) sebesar sekitar 20 sampai 30% dari rugi-rugi beban penuh.

Adapun rumus persamaan untuk menghitung rugi – rugi tembaga atau rugi – rugi listrik yaitu :

$$P_{SCL} = 3 I_A^2 R_A$$

Ket :

$$P_{SCL} = \text{rugi tembaga stator}$$

$$I_A = \text{arus pada stator}$$

$$R_A = \text{tahanan stator}[3]$$

Rugi – rugi Besi

Rugi – rugi besi disebut juga rugi-rugi magnetic yang terdiri dari histerisis dan rugi-rugi arus pusar atau arus eddy yang timbul dari perubahan kerapatan fluks pada besi mesin dengan hanya lilitan peneral utama yang diberi tenaga pada generator sinkron rugi ini dialami oleh besi atatur/jangkar. Rugi – rugi ini biasanya diambil untuk suatu kurva rugi – rugi besi sebagai fungsi dari tegangan armatur disekitar regangan ukuran. Maka rugi – rugi besi dalam keadaan terbebani ditentukan sebagai harga pada suatu tegangan yang besarnya sama dengan tegangan ukuran yang merupakan perbedaan dari jatuhnya tahanan ohm atatur/jangkar pada saat terbebani rugi histerisis (Ph) dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan empiris yang besarnya adalah :

$$P = k \cdot B_{max} \cdot f \cdot v \cdot (Watt)$$

2.1

Keterangan :

k = Koefisien Histeresis

B_{max} = kerapatan fluks (Wb/m^2)

η = Koefisien Steinmetz

v = Volume inti (m^3)

f = Frekuensi (Hz)

Dari persamaan tersebut besarnya koefisien steinmetz, kerapatan fluks, dan volume inti adalah konstan sehingga nilai rugi – rugi hysteresis adalah merupakan fungsi dari frekuensi atau ditulis :

$$P = F(f) \quad 2.2$$

Rugi – rugi Mekanik

Rugi – rugi mekanik terdiri dari :

Rugi – rugi gesek yang terjadi pada pergeseran sikat dan sumbu. Rugi ini dapat di ukur dengan menentukan masukan pada mesin yang bekerja pada kecepatan yang semestinya tetapi tidak diberi beban dan tidak di netral.

Rugi – rugi angin atau disebut juga rugi –rugi buta akibat adanya celah udara antara bagian rotor dan bagian stator. Besar rugi – rugi mekanik sekitar 10% sampai 20% dari rugi – rugi total pada beban penuh.[2]

Persamaan untuk menghitung rugi – rugi mekanik yaitu:

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

Ket:

P_{mech} = rugi – rugi mekanikal.

0,01 = 1.0 peraan yang di ambil dari beban penuh.

P_{in} = daya masukan dari *prime mover*. [3]

Rugi – rugi Beban Tersebar

Rugi – rugi ini terdiri atas rugi – rugi yang timbul karena pembagian arus tak seragam pada tembaga dan rugi – rugi inti besi tambahan yang dihasilkan pada besi karena gangguan pada fluks magnetik oleh arus beban. Besarnya rugi – rugi ini dinyatakan sebesar $\pm 1\%$ dari beban penuhnya.[2]

E. Efisiensi Generator

Efisiensi generator adalah perbandingan antara daya output dan daya input. Seperti halnya dengan mesin – mesin listrik lainnya, maupun transformator, maka efisiensi generator sinkron dapat di tuliskan seperti persamaan berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad 2.3$$

$$P_{in} = P_{out} + \Sigma Prugi \quad 2.4$$

$$\Sigma Prugi = I_r^2 R_f + 3I_a^2 R_a \quad 2.5$$

Keterangan :

P_{in} = Daya masukan (watt)

$I_r^2 R_f$ = Rugi Kumparan medan (watt)

$I_a^2 R_a$ = Rugi Kumparan jangkar (watt)

P_{out} = Daya keluaran (watt)

III. METODOLOGI

A. Teknik Pengumpulan Data

1. Teknik Observasi

Pada teknik observasi penulis akan melakukan penelitian secara langsung terhadap obyek yang akan

dilakukan penelitian untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam penulisan tugas akhir.

2. Studi Literatur

Dalam melakukan penelitian harus dilakukan teknik penyusunan yang sistematis untuk memudahkan langkah-langkah dalam pengambilan data.

3. Wawancara

Wawancara merupakan salah satu cara untuk mengumpulkan data yang dilakukan oleh peneliti untuk memperoleh informasi tentang Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas dengan bertanya langsung dengan pengelola pembangkit listrik tersebut.

Pengambilan data yang dilakukan di PT PLN Nusantara Power PLTMG ARUN yang terletak di Jl. Medan-Banda Aceh Gate 5.3, PT PAG, Desa Meriah Paloh, Muara Satu, Kota Lhokseumawe, Aceh 24355 data yang di peroleh dari manual book, dokumentasi, dan meliputi data spesifikasi generator.

B. Data Spesifikasi Generator

Data spesifikasi Generator dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL I
Data Spesifikasi Generator

Type	AMG 1120LT08 DSE
Output	12163 kVA
Current	638 A
Voltage	11000 V
Power factor	0.80
Frequency	50 Hz
Speed	750 Rpm
Over speed	900 Rpm
Weight	34500 Rpm
Inertia	3000 KG ²
Attitude	1000 masl
Cooling method	IC0A1
Directing of rotation	CCW
Protection by enclosure	Ip23
Ambient temperature	$\pm 50^\circ C$
Short circuit ratio	0.68

C. Data Tahanan Generator

Data tahanan generator didapatkan dari Manual Generator AMG 1120LT08 DSE yang ditunjukkan pada Tabel 2.

TABEL II
Manual Generator AMG 1120LT08 DSE

RESISTANCES AT 20°C		
stator winding		0,0321 Ω
field winding		0,9583 Ω
excitation winding		5,7 Ω

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan cara perhitungan yang telah dibahas pada bab 2 dengan menggunakan data Spesifikasi dan pembebanan generator, Untuk mendapatkan nilai efisiensi pada pembebanan pada generator maka harus diketahui besarnya tahanan stator, perubahan temperature, dan koefisien nilai temperatur bahan pada generator. Perhitungan pada pembebanan pada generator *Type* AMG 1120LT08 DSE acuan data hasil perhitunagn pada generator pada saat pembebanan. Langkah dalam mengetahui efisiensi pada generator maka diperlukan perhitungan hilangnya daya dari rugi-rugi tembaga,rugi-rugi inti, rugi-rugi mekanikal dan rugi-rugi stray.

A. Menghitung Ampere Generator 3 Fasa

Pada penelitian diperlukan untuk mengetahui arus yang dihasilkan pada saat terjadi pembebanan pada generator, dari pembebanan generator tersebut maka sangat perlu untuk mengetahui atau cara menghitung arusnya dimana pada saat pembebanan generator 3 pahasa selama 24 jam memiliki nilai rata – rata sebesar 8,800 KW dari catatan laporan harian oleh operator.

Dari tabel data 3.1 pada *logsheet* pada saat pembebanan belum diketahui arusnya jika hanya diketahui daya nya saja bagaimana untuk mengetahui ampernya, untuk mengetahui arus pembebanan generator maka dapat dijelaskan pada persamaan berikut:

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

Keterangan :

P = Daya Watt

V = Tegangan (Voltage)

$\sqrt{3}$ = Konstata jika memakai 3 fasa dengan nilai jika disimalkan 1.732

Ditanya : I

$$\begin{aligned} I &= P/V \times \sqrt{3} \times \cos \phi \\ &= 58,00000/11000 \times 1,732 \\ &= 58,00000/15241,6 \\ &= 380.537 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama maka dapat diperoleh arus pembebanan pada generator pada data laporan pembebanan 14 Juni 2023.

B.Perhitungan Rugi - rugi daya (Losses) pada Generator

Untuk mendapatkan rugi-rugi daya total pada generator maka dilakukan perhitungan pada rugi-rugi (*Losses*) sebagai berikut :

Diketahui :

$$R_T = 0,0321 \Omega$$

$$\Delta T = 95^\circ C$$

$$\alpha = 0,00404^\circ C$$

$$I_s = 472,3$$

1. Rugi-rugi tembaga

$$R_T = 0,0321$$

$$\Delta T = 20-115^\circ C$$

$$= 95^\circ C$$

$$\alpha = 0,00404/^\circ C$$

$$I_s = 472,3$$

Untuk menghitung resistansi stator menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R_T &= R_o(1+\alpha\Delta T) \\ R_{T(Rstator)} &= R_o(1+0,00404 \times 95) \\ &= 0,044 \Omega \end{aligned}$$

Untuk menghitung rugi-rugi tembaga menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} P_c &= 3 \times I_s^2 \times R_{stator} \\ P_c &= 3 \times (472,3)^2 \times 0,044 \\ &= 29444,8828 \text{ Watt} \\ &= 29,44488228 \text{ KW} \end{aligned}$$

2. Rugi-rugi mekanik

$$P_{100\%} = 9730$$

$$\eta_{100\%} = 97,31\%$$

Untuk menghitung rugi-rugi mekanik menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{Rugi-rugi daya total}} \times 100 \% \\ \text{Rugi beban penuh} &= P_m - P_{Out} \\ &= \frac{P_{Out} - P_{Out}}{0,9731} - 9730 \\ &= 268,972356 \text{ KW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{mech} &= 0,2 \times 268,972356 \text{ KW} \\ &= 53,794471 \text{ KW} \end{aligned}$$

3. Untuk menghitung Rugi-rugi besi menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned} P_{Core} &= 0,3 \times P_{Rugi \text{ beban penuh}} \\ P_{Core} &= 0,3 \times 268,972356 \text{ Watt} \\ &= 80,691 \text{ KW} \end{aligned}$$

4. Utung menghitung rugi stray menggunakan persamaan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{stray} &= 0,01 \times P_c \\ &= 0,01 \times 29444,8828 \\ &= 294,448 \text{ Watt} \\ &= 0,2944 \text{ KW} \end{aligned}$$

5. Untuk menghitung Rugi - rugi total menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Prugi \text{ Total} &= P_c + P_{mech} + P_{core} + P_{stay} \\ Prugi \text{ Total} &= 29.444 + 268.972 + 80,691 + \\ &= 0,294,448 \\ &= 379.401 \text{ KW} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{Rugi-rugi Daya Total}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{8867}{8867 + 379,401} \times 100$$

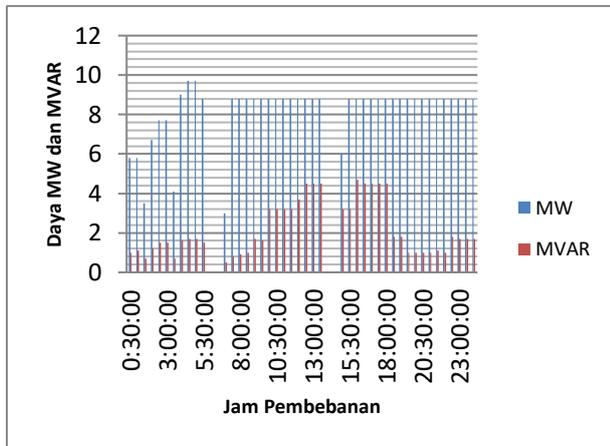
$$\eta = 95,896\%$$

C. Hasil Perhitungan Efisiensi

Hasil perhitungan efisiensi terdapat pada lampiran nilai efisiensi yang didapatkan dari hasil perhitungan mengalami konstan untuk kinerja generator dapat dilihat dari nilai efisiensi,efisiensi yang semakin besar dapat

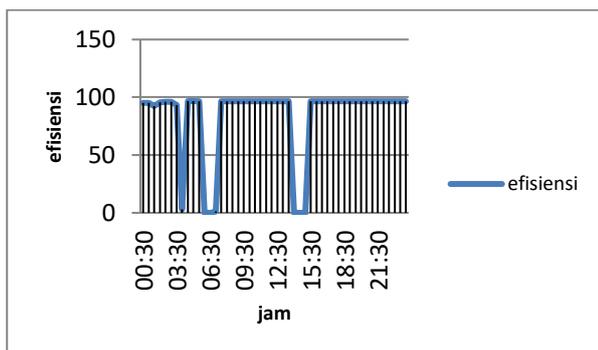
membuat kinerja generator akan meningkat dan juga jika efisiensi generator yang semakin rendah dapat menyebabkan kinerja pada generator akan menurun.

Berdasarkan hasil perhitungan rugi – rugi daya dan efisiensi generator maka dapat dilihat grafik pengaruh perubahan beban terhadap kinerja generator pada Gambar berikut.



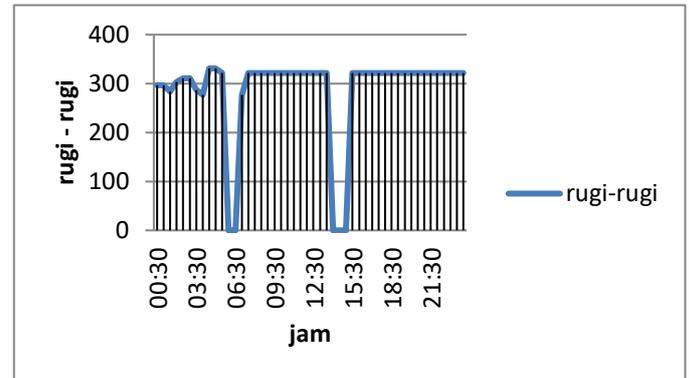
Gbr 2. Grafik Perubahan Beban Terhadap Waktu

Pada Gambar Grafik gambar 2 yang menunjukkan bahwa hubungan waktu pembebanan adalah Mvar yang terjadi naik turun dan beban tertinggi pada jam 04.30 dan 05.00 yaitu 9.7 Mw, Mvar 1.7 rugi – rugi daya 331.03kw dan efisiensi 96.69% , daya rata-rata 8.8 mw dan Mvar yang berubah – ubah dan yang terendah pada jam 07.00 daya 3 Mw dan 0.5 Mvar.



Gbr 3. Grafik perubahan efisiensi terhadap waktu

Pada Gambar Grafik 3 dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi pada jam 04.30 dan jam 05.00 dengan nilai efisiensi 96.69985% efisiensi terendah pada jam 07.00 dengan nilai 1.07127% dan efisiensi rata – rata 96.47553%.



Gbr 4. Grafik Perubahan Rugi – Rugi Terhadap Waktu

Pada grafik gambar 4, menunjukkan bahwa rugi – rugi tertinggi pada jam 4.30 dan 5.00 dengan nilai 331.0395, rugi – rugi terendah pada jam 7.00 dengan nilai 277.0415, dan rugi – rugi rata – rata dengan nilai 321.4841.

V. KESIMPULAN

1. Perubahan beban sangat berpengaruh terhadap rugi – rugi daya yang dihasilkan. Rugi – rugi daya terbesar dengan nilai 331.03 KW pada saat beban 9700 KW dan rugi – rugi daya terendah dengan nilai 277.04 KW pada saat beban 3000 KW.
2. Semakin tinggi beban maka akan semakin tinggi juga rugi – rugi daya yang dihasilkan oleh generator sehingga dapat dapat berpengaruh terhadap efisiensi generator.
3. Efisiensi terendah pada saat beban 3000 KW dengan persentase 1.071% dan efisiensi tertinggi pada beban 9700 KW dengan persentase 96.69%.
4. Efisiensi akan sangat mempengaruhi kinerja dari generator, efisiensi generator yang semakin besar akan menyebabkan kinerja generator meningkat begitu juga sebaliknya efisiensi generator yang terendah akan menyebabkan kinerja generator menurun.

REFERENSI

- [1] Zuriman Anthony. 2013. **Mesin Listrik Arus Bolak-Balik**
- [2] Muhammad Rafli Irawan, 2022. **Analisa Perubahan Beban Terhadap Kinerja Generator DI PT. PJB UBJOM PLTMG ARUN** (Skripsi mahasiswa)
- [3] Rahmat Septiyan, Mayda Waruni Kasrani, Bambang Sugeng, 2019. **Analisa Hilang Daya Pada Generator Sinkron 3 Fasa (6.6 KV) 11 MVA TYPE 1DT4038 – 3EE02 – Z** (jurnal JTE UNIBA, Vol. 4, No. 1)