



ANALISIS VARIASI BEBAN OUTPUT GENERATOR TERHADAP RUGI-RUGI DAYA DAN PENGARUHNYA PADA EFISIENSI DAN TEMPERATUR PLTU INDONESIA POWER PELABUHAN RATU

Abu Ahnaf¹, Benhur Nainggolan¹, P. Jannus¹

¹Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

E-mail address: benhur.nainggolan@mesin.pnj.ac.id, p.jannus@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi karena belum optimalnya pengendalian variasi beban pada generator sinkron yang dapat meningkatkan rugi-rugi daya dan menurunkan efisiensi operasi pembangkit. Variasi pembebanan pada generator secara langsung memengaruhi parameter operasional seperti arus, rugi-rugi daya, efisiensi, dan temperatur kerja. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi beban output terhadap komponen rugi-rugi daya (rugi tembaga, rugi besi, rugi mekanik, dan rugi stray) serta dampaknya terhadap efisiensi dan temperatur pada Generator Unit 1 dan Unit 2 di PLTU Indonesia Power Jabar 2 Pelabuhan Ratu. Metode yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif dengan data operasional harian periode 1–28 Januari 2026. Hasil menunjukkan beban berfluktuasi dengan arus 4.099–6.952 A (Unit 1) dan 4.516–7.142 A (Unit 2), sementara tegangan stabil pada 19,3–20,1 kV dengan faktor daya 0,91. Kenaikan beban meningkatkan rugi daya, terutama rugi tembaga akibat pengaruh kuadrat arus, serta meningkatkan temperatur yang memperbesar resistansi lilitan. Analisis regresi menunjukkan rugi daya dan temperatur berbanding terbalik dengan efisiensi. Efisiensi generator berada pada kisaran 90%–95% dan optimal pada kondisi beban ideal dengan rugi daya dan temperatur minimum.

Kata-kata kunci: Generator Sinkron, Variasi Beban, Rugi-Rugi Daya, Efisiensi, Temperatur.

Abstract

This study is motivated by the suboptimal control of load variations in synchronous generators, which can increase power losses and reduce operational efficiency in power plants. Load variation directly affects operational parameters such as current, power losses, efficiency, and operating temperature. This research aims to analyze the effect of output load variation on power loss components (copper loss, iron loss, mechanical loss, and stray loss) and its impact on efficiency and temperature in Generator Unit 1 and Unit 2 at PLTU Indonesia Power Jabar 2 Pelabuhan Ratu. A descriptive quantitative method was applied using daily operational data from January 1–28, 2026. The results show that load fluctuated with current ranging from 4,099–6,952 A (Unit 1) and 4,516–7,142 A (Unit 2), while voltage remained stable at 19.3–20.1 kV with a constant power factor of 0.91. Increasing load led to higher total losses, dominated by copper losses due to the square of current, and increased temperature that raised winding resistance. Regression analysis indicates that power losses and temperature are inversely related to efficiency. Generator efficiency remained in a good range of 90%–95%, with optimal efficiency achieved at ideal load conditions where total losses and operating temperature are minimal.

Keywords: Synchronous Generator, Load Variation, Power Losses, Efficiency, Temperature.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, perkembangan industri, dan kemajuan teknologi menuntut sistem pembangkitan tenaga listrik untuk beroperasi secara optimal, efisien, dan andal[1]. Salah satu jenis pembangkit listrik yang memiliki kontribusi besar dalam sistem kelistrikan di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTU memanfaatkan energi panas dari pembakaran bahan bakar untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi yang digunakan untuk memutar turbin, yang selanjutnya menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik[2].

Generator sinkron merupakan komponen utama dalam sistem pembangkitan listrik yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik[3]. Kinerja generator sangat menentukan efisiensi keseluruhan sistem pembangkitan. Oleh karena itu, pengoperasian generator harus dilakukan secara optimal agar dapat meminimalkan kerugian energi serta meningkatkan efisiensi pembangkitan[4].

Dalam kondisi operasional, generator tidak selalu bekerja pada beban tetap. Variasi daya atau perubahan beban merupakan hal yang tidak dapat dihindari, terutama karena fluktuasi kebutuhan energi listrik dari konsumen[5]. Variasi beban ini akan mempengaruhi parameter-parameter listrik seperti arus, tegangan, dan faktor daya[6]. Perubahan parameter tersebut secara langsung berdampak pada efisiensi dan rugi-rugi daya yang terjadi pada generator.

Rugi-rugi daya pada generator merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kinerja dan efisiensi sistem pembangkitan. Secara umum, rugi-rugi pada generator terdiri dari rugi tembaga (*copper loss*), rugi besi (*iron loss*), dan rugi mekanik (*mechanical loss*)[3]. Rugi tembaga terjadi akibat adanya arus yang mengalir pada kumparan stator dan rotor, dan besarnya berbanding lurus dengan kuadrat arus (I^2R)[1]. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan arus akibat kenaikan beban akan menyebabkan peningkatan rugi-rugi daya secara signifikan. Sementara itu, rugi besi disebabkan oleh histeresis dan arus eddy pada inti besi, dan rugi mekanik disebabkan oleh gesekan serta ventilasi[7].

Efisiensi generator didefinisikan sebagai perbandingan antara daya output yang dihasilkan dengan daya input yang diberikan[4]. Nilai efisiensi ini sangat dipengaruhi oleh besarnya rugi-rugi yang terjadi. Pada kondisi beban rendah, efisiensi cenderung kecil karena rugi-rugi tetap relatif besar dibandingkan daya output. Sebaliknya, pada kondisi beban tinggi, efisiensi meningkat, namun peningkatan arus juga menyebabkan rugi-rugi tembaga meningkat secara kuadratik[1]. Oleh karena itu, terdapat titik operasi optimal di mana generator bekerja dengan efisiensi maksimum[7].

PLTU Indonesia Power Jabar 2 Pelabuhan Ratu merupakan salah satu unit pembangkit yang berperan penting dalam penyediaan energi listrik di sistem Jawa-Bali[8]. Dalam operasinya, generator di PLTU ini mengalami variasi daya sesuai dengan kebutuhan sistem[9]. Hal ini menjadikan penting untuk dilakukan analisis terhadap pengaruh variasi daya terhadap efisiensi dan rugi-rugi daya generator, guna mengetahui karakteristik kinerja generator pada berbagai kondisi beban.

Penelitian ini menawarkan solusi melalui analisis berbasis data operasional aktual dengan menggunakan metode regresi untuk mengidentifikasi pengaruh variasi beban terhadap rugi-rugi daya, efisiensi, dan temperatur generator, sehingga dapat ditentukan kondisi operasi yang optimal. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa rugi tembaga meningkat seiring kenaikan arus (I^2R), efisiensi optimal dicapai pada beban mendekati kapasitas nominal, serta temperatur memengaruhi resistansi lilitan dan rugi daya[10]. Namun, masih terdapat kesenjangan penelitian karena sebagian besar studi hanya menganalisis parameter secara terpisah atau menggunakan pendekatan teoritis, sehingga penelitian ini mengisi gap tersebut dengan analisis komprehensif berbasis data operasional aktual pada generator di pembangkit listrik[11].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara variasi daya dengan efisiensi serta rugi-rugi daya generator di PLTU Indonesia Power Jabar 2 Pelabuhan Ratu. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat dalam pengoperasian generator secara optimal serta sebagai referensi dalam meningkatkan efisiensi sistem pembangkitan tenaga listrik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif untuk menganalisis hubungan antara variasi daya terhadap efisiensi dan rugi-rugi daya pada generator. Pendekatan kuantitatif digunakan karena data yang diolah berupa nilai numerik seperti tegangan, arus, daya, dan faktor daya, sedangkan pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi serta karakteristik kinerja generator berdasarkan data yang diperoleh. Data penelitian dikumpulkan dari data operasional harian generator selama periode 1–28 Januari 2026.

Objek dan Data Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah generator sinkron yang digunakan pada unit pembangkit di PLTU Indonesia Power Jabar 2 Pelabuhan Ratu. Generator ini berfungsi sebagai pengubah energi mekanik dari turbin uap menjadi energi listrik.



Gambar 2.1. *Generator Sinkron*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui:

1. Studi Literatur
Mengumpulkan referensi dari buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan generator, efisiensi, dan rugi-rugi daya.
2. Observasi
Melakukan pengamatan langsung terhadap sistem operasi generator di lapangan untuk memahami kondisi kerja dan karakteristik beban.
3. Wawancara
Mengambil data historis dan real-time dari sistem DCS sebagai dasar analisis.

Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Perhitungan Efisiensi Generator

Efisiensi generator dihitung menggunakan persamaan:

$$\eta = (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \times 100\%$$

dengan:

$$\begin{aligned}\eta &= \text{efisiensi (\%)} \\ P_{\text{out}} &= \text{daya output (W)} \\ P_{\text{in}} &= \text{daya input (W)}\end{aligned}$$

2. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_{\text{loss}} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}}$$

3. Analisis Rugi Tembaga (Copper Loss)

Rugi tembaga dianalisis berdasarkan hubungan arus dengan rugi daya:

$$P_{\text{cu}} = I^2 R$$

Hal ini menunjukkan bahwa rugi tembaga bersifat kuadratik terhadap arus, sehingga peningkatan arus akan meningkatkan rugi-rugi secara signifikan[12].

4. Analisis Hubungan Variasi Daya

Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis untuk mengetahui hubungan antara variasi daya dengan efisiensi dan rugi-rugi daya generator. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Operasi Generator

Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus generator mengalami fluktuasi signifikan seiring perubahan beban, yaitu pada Unit 1 berkisar antara 4.099 A hingga 6.952 A dan Unit 2 antara 4.516 A hingga 7.142 A. Tegangan generator relatif stabil pada kisaran 19,3 kV hingga 20,1 kV dengan faktor daya konstan sebesar 0,91. Kondisi ini menunjukkan bahwa variasi beban lebih berpengaruh terhadap arus dibandingkan tegangan.

Tabel 3. 1 Data Spesifikasi Generator

Generator Specification	
Manufactur	Shanghai Electric
Model	QFSN-350-2
Rated Capacity	412 MVA
Rated Power Factor	0.85
Rated Stator Voltage	20 kV
Rated Stator Current	11887 A
Rated Speed	3000 r/min
Rated Frequency	50 Hz
Efficiency	98,85%
Cooler water inlet temperature	$\geq 38,5^{\circ}\text{C}$
Excitation Type	Brushless Excitation (BLE)
Rated Field Voltage (90°C)	2830 A
Rated Field Current	340 V
Cold Hydrogen Temperature	Norm. 46°C; Max. 48°C
Stator winding cooling water inlet temperature	45°C ~ 50°C

No load field current	978 A
No load field voltage	113 V
Stator winding resistance (15°C)	0,00212 Ω/phase
Rotor winding resistance (15°C)	0,0923 Ω
Phase/Connected	3 Y

Analisis Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya generator terdiri dari:

- Rugi tembaga (I^2R)
- Rugi besi
- Rugi mekanik
- Rugi stray

Hasil analisis menunjukkan bahwa rugi tembaga merupakan komponen dominan yang meningkat secara signifikan seiring kenaikan arus. Hal ini sesuai dengan karakteristiknya yang bersifat kuadratik terhadap arus.

Rugi-Rugi Tembaga

$$R_T = 0,0923 (1 + 0,00393 (48,1-15))$$

$$R_T = 0,1043 \Omega$$

$$P_{cu} = 3 \times (317)^2 \times 0,0143$$

$$P_{cu} = 31261,0 K_w$$

Rugi-Rugi Mekanik

$$P_{beban\ tertinggi} 317 Mw$$

$$\eta 100\% = 98,8\% \text{ (berdasarkan pada data sheet operasi Generator)}$$

$$Rugi\ Beban\ Penuh = P_{in} - P_{out}$$

$$Rugi\ Beban\ Penuh = \frac{P_{out}}{\eta} - P_{out}$$

$$Rugi\ Beban\ Penuh = \frac{317}{0,988} - 317$$

$$Rugi\ Beban\ Penuh = 3850 Kw$$

$$P_{mech} = 0,2 \times 3850$$

$$P_{mech} = 770,0 Kw$$

Rugi-Rugi Besi

$$P_{fe} = 0,3 \times 3850$$

$$P_{fe} = 1155,0 Kw$$

Rugi-Rugi Stray

$$P_{stray} = 0,01 \times 31261,0$$

$$P_{stray} = 312,6 \text{ Kw}$$

Rugi-Rugi Total

$$P_{Rugi\ Total} = 31261,0 + 770,0 + 1155,0 + 312,6 = 33498,6 \text{ Kw}$$

Hubungan Beban, Arus, dan Temperatur

Kenaikan beban menyebabkan peningkatan arus yang berdampak pada meningkatnya rugi tembaga. Selain itu, peningkatan temperatur menyebabkan kenaikan resistansi lilitan sehingga memperbesar rugi daya.

Dengan demikian, terdapat hubungan berantai:

Beban $\uparrow \rightarrow$ Arus $\uparrow \rightarrow$ Rugi Tembaga $\uparrow \rightarrow$ Temperatur $\uparrow \rightarrow$ Resistansi $\uparrow \rightarrow$ Rugi makin besar

Secara praktis, hubungan ini menunjukkan bahwa operasi generator pada beban tinggi dalam waktu lama dapat menyebabkan peningkatan temperatur yang signifikan, yang berpotensi mempercepat degradasi isolasi dan menurunkan umur peralatan.

Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa temperatur generator cenderung meningkat secara nonlinier terhadap beban. Pada beban rendah hingga menengah, kenaikan temperatur relatif landai. Namun, pada beban mendekati kapasitas maksimum, kenaikan temperatur menjadi lebih tajam akibat dominasi rugi tembaga.

Hal ini menegaskan bahwa pengoperasian generator harus memperhatikan batas temperatur yang diizinkan serta sistem pendinginan yang optimal. Jika tidak, maka peningkatan temperatur yang berlebihan dapat menyebabkan:

- Penurunan efisiensi generator
- Peningkatan rugi-rugi daya
- Kerusakan isolasi kumparan
- Penurunan keandalan sistem

Dengan demikian, hubungan antara beban, arus, dan temperatur tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga memiliki implikasi langsung terhadap performa dan umur operasional generator. Oleh karena itu, pengendalian beban dalam rentang optimal menjadi kunci utama dalam menjaga efisiensi dan keandalan sistem pembangkit.

Analisis Efisiensi Generator

Efisiensi generator merupakan parameter utama dalam menilai kinerja konversi energi dari energi mekanik menjadi energi listrik. Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara daya keluaran (output) terhadap daya masukan (input), yang secara matematis dinyatakan sebagai:

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

Dalam praktiknya, daya input generator berasal dari turbin, sedangkan daya output adalah daya listrik yang disalurkan ke sistem. Selisih antara keduanya merupakan rugi-rugi daya total yang terjadi pada generator, sehingga efisiensi juga dapat dituliskan sebagai:

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

dengan Ploss terdiri dari:

- Rugi tembaga (copper losses)
- Rugi besi (core losses)

- Rugi mekanik (mechanical losses)
- Rugi stray

Tabel 3. 2 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Dan Efisiensi Generator

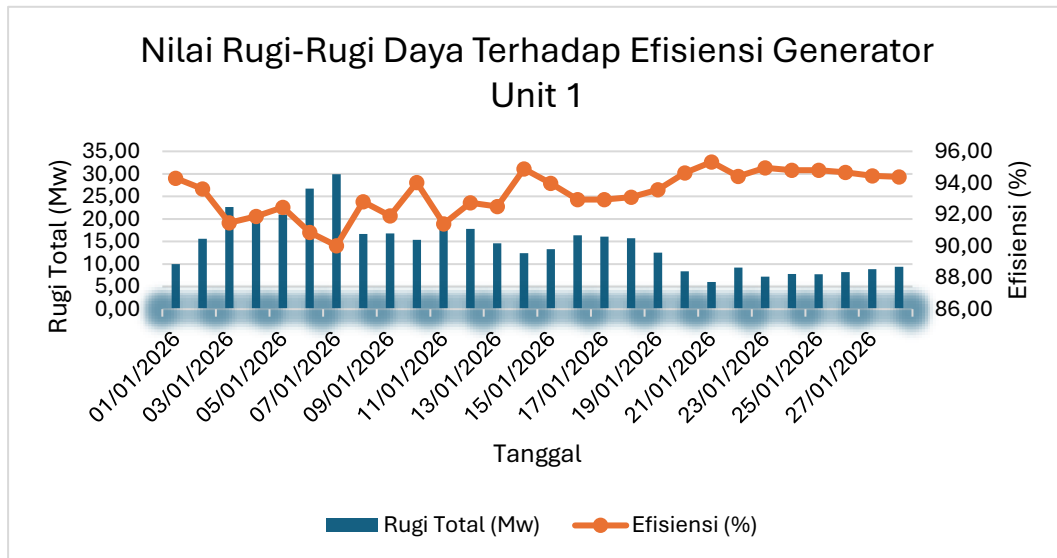
Tanggal	Rugi Tembaga (Kw)	Rugi Mekanik (Kw)	Rugi Besi (Kw)	Rugi Beban Stray (Kw)	Rugi Total (Mw)	Efisiensi (%)
01/01/2026	8890,1	401,1	601,7	88,9	9,98	94,30
02/01/2026	14085,6	556,4	834,7	140,9	15,62	93,62
03/01/2026	20981,2	591,5	887,2	209,8	22,67	91,48
04/01/2026	20171,5	601,4	902,0	201,7	21,88	91,88
05/01/2026	19254,1	625,1	937,7	192,5	21,01	92,45
06/01/2026	24887,3	646,7	970,0	248,9	26,75	90,87
07/01/2026	28007,9	655,9	983,9	280,1	29,93	90,02
08/01/2026	15229,7	522,9	784,3	152,3	16,69	92,80
09/01/2026	15469,0	463,6	695,4	154,7	16,78	91,92
10/01/2026	13761,1	587,5	881,2	137,6	15,37	94,03
11/01/2026	18459,1	514,9	772,4	184,6	19,93	91,41
12/01/2026	16235,4	551,9	827,9	162,4	17,78	92,74
13/01/2026	13402,0	439,3	658,9	134,0	14,63	92,51
14/01/2026	10891,2	560,0	840,1	108,9	12,40	94,90
15/01/2026	11939,9	504,3	756,5	119,4	13,32	93,97
16/01/2026	14928,6	523,9	785,9	149,3	16,39	92,94
17/01/2026	14652,9	514,4	771,7	146,5	16,09	92,94
18/01/2026	14306,3	515,4	773,1	143,1	15,74	93,09
19/01/2026	11297,7	442,3	663,5	113,0	12,52	93,57
20/01/2026	7423,1	360,5	540,7	74,2	8,40	94,64
21/01/2026	5236,5	299,0	448,4	52,4	6,04	95,32
22/01/2026	8216,7	380,3	570,5	82,2	9,25	94,42
23/01/2026	6335,6	331,0	496,6	63,4	7,23	94,96
24/01/2026	6892,3	347,1	520,7	68,9	7,83	94,81
25/01/2026	6791,9	341,7	512,5	67,9	7,71	94,80
26/01/2026	7271,5	355,0	532,4	72,7	8,23	94,67
27/01/2026	7852,7	366,2	549,4	78,5	8,85	94,46
28/01/2026	8374,4	384,5	576,7	83,7	9,42	94,38

Dapat dianalisis bahwa rugi-rugi pada generator, baik pada Unit 1 maupun Unit 2, terdiri dari rugi tembaga, rugi mekanik, dan rugi besi yang nilainya bervariasi mengikuti perubahan beban operasi. Rugi tembaga menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan kenaikan beban, karena besarnya dipengaruhi oleh kuadrat arus yang mengalir pada lilitan generator. Sementara itu, rugi mekanik dan rugi besi cenderung lebih stabil karena dipengaruhi oleh faktor putaran, gesekan, serta karakteristik material inti besi yang relatif konstan selama operasi normal. Total rugi-rugi merupakan akumulasi dari seluruh komponen rugi tersebut, sehingga semakin besar beban yang diberikan, maka total rugi-rugi juga cenderung meningkat.

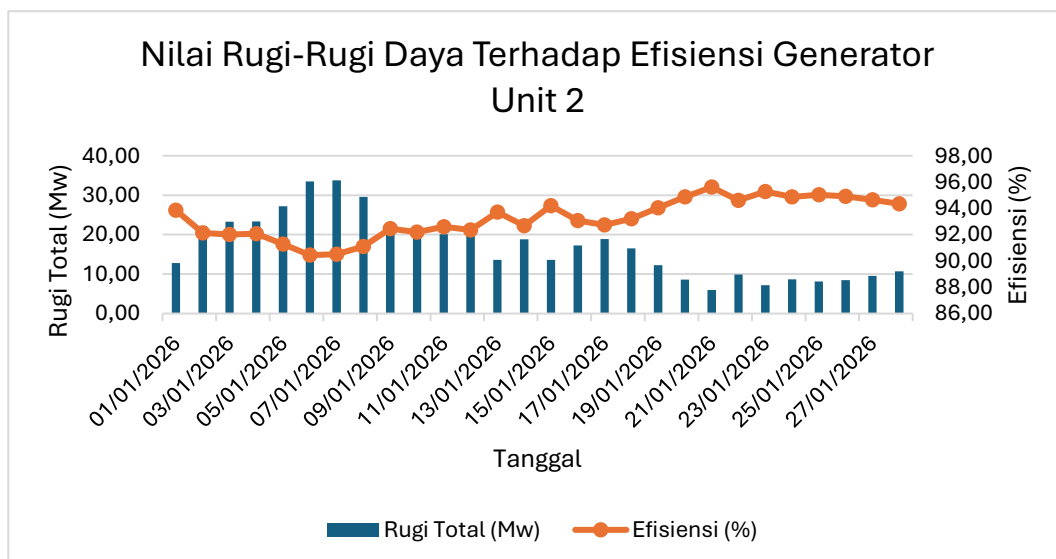
Efisiensi generator pada kedua unit berada pada kisaran sekitar 90% hingga 95%, yang menunjukkan bahwa generator masih bekerja dalam kondisi yang baik dan mendekati nilai efisiensi desain. Efisiensi tertinggi umumnya terjadi pada kondisi beban mendekati optimal, di mana perbandingan antara daya keluaran dan total rugi-rugi berada pada kondisi paling ideal. Sebaliknya, pada saat beban rendah atau terlalu tinggi, efisiensi cenderung menurun karena proporsi rugi-rugi menjadi lebih besar dibandingkan daya yang dihasilkan. Jika dibandingkan, Unit 2 menunjukkan kecenderungan efisiensi yang sedikit lebih tinggi

dibandingkan Unit 1, yang kemungkinan disebabkan oleh kondisi operasional yang lebih stabil atau rugi-rugi yang lebih kecil.

Analisis Grafik Rugi-Rugi Dan Efisiensi



Gambar 3. 1 Grafik Rugi-Rugi Terhadap Efisiensi Generator Unit 1



Gambar 3. 2 Grafik Rugi-Rugi Terhadap Efisiensi Generator Unit 2

Berdasarkan grafik 3.1 dan 3.2, terlihat bahwa rugi-rugi daya dan efisiensi memiliki hubungan berbanding terbalik, di mana peningkatan rugi-rugi menyebabkan efisiensi menurun, dan sebaliknya. Pada Unit 1, fluktuasi rugi-rugi cukup besar di awal namun kemudian cenderung menurun sehingga efisiensi menjadi lebih stabil. Sementara itu, Unit 2 menunjukkan pola yang serupa tetapi dengan efisiensi yang lebih stabil dan sedikit lebih tinggi. Selain itu, grafik hubungan rugi-rugi daya dengan temperatur menunjukkan bahwa kenaikan temperatur diikuti oleh peningkatan rugi-rugi. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya resistansi pada lilitan generator saat suhu naik. Pada kedua unit, ketika temperatur mulai stabil atau menurun, rugi-rugi juga ikut menurun. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa efisiensi optimal terjadi saat rugi-rugi dan temperatur berada pada kondisi rendah dan stabil.

Hasil Statistik Perhitungan Rugi-Rugi Daya Terhadap Efisiensi

Tabel 3. 3 Data Statistik Rugi-Rugi Daya Terhadap Efisiensi Generator

Model Summary^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.953 ^a	0,908	0,905	43,32379
a. Predictors: (Constant), RugiTotal				
b. Dependent Variable: Efisiensi				

ANOVA^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	482437,711	1	482437,711	257,033	.000 ^b
	Residual	48800,717	26	1876,951		
	Total	531238,429	27			
a. Dependent Variable: Efisiensi						
b. Predictors: (Constant), RugiTotal						

Coefficients^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	9652,846	21,429		450,459	0,000		
	RugiTotal	-0,218	0,014	-0,953	-16,032	0,000	1,000	1,000
a. Dependent Variable: Efisiensi								

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.10 regresi linear sederhana dapat disimpulkan bahwa rugi-rugi daya total berpengaruh negatif dan signifikan terhadap efisiensi generator. Nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,953 menunjukkan hubungan yang sangat kuat, sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 90,8% menunjukkan bahwa sebagian besar variasi efisiensi generator dipengaruhi oleh rugi-rugi daya total. Koefisien regresi sebesar -0,218 menunjukkan bahwa peningkatan rugi-rugi daya akan menyebabkan penurunan efisiensi generator.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data operasional Generator Unit 1 dan Unit 2 di PLTU Indonesia Power Jabar 2 Pelabuhan Ratu periode 1–28 Januari 2026, penelitian ini membuktikan adanya dua pola hubungan parameter yang saling bertolak belakang. Total rugi-rugi daya memiliki hubungan berbanding terbalik (korelasi negatif) terhadap efisiensi generator, kenaikan beban memicu lonjakan arus harian (4.099 A–6.952 A pada Unit 1 dan 4.516 A–7.142 A pada Unit 2) yang memperbesar akumulasi rugi tembaga sehingga menurunkan persentase efisiensi, meskipun performa harian kedua unit masih terjaga dengan baik pada rentang 90% hingga 95%. Kedua, total rugi-rugi daya memiliki hubungan berbanding lurus (korelasi positif) terhadap temperatur kerja belitan generator akibat perubahan energi listrik menjadi energi termal sesuai Hukum Joule, yang kemudian menciptakan efek timbal balik berupa peningkatan nilai resistansi efektif konduktor tembaga saat suhu memanas. Melalui sintesis kedua kurva tersebut, dapat disimpulkan bahwa karakteristik operasi generator yang paling aman dan efisien (mencapai efisiensi optimal mendekati 95%) hanya dapat terwujud pada kondisi pembebanan ideal di mana total rugi-rugi daya dan temperatur kerja mampu ditekan pada tingkat terendah yang stabil melalui optimalisasi sistem pendingin.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pembimbing lapangan yang telah memberikan izin dan kemudahan akses selama pengambilan data penelitian berlangsung dalam pelaksanaan program magang, sehingga seluruh data yang dibutuhkan dalam penelitian ini dapat diperoleh dengan baik. Terimakasih juga untuk dosen pembimbing Ir. Benhur Nainggolan M.T dan P. Jannus S.T, M.T. atas bimbingannya dari awal hingga prosiding selesai. Penulis juga ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada orang tua penulis atas doanya dan juga untuk seseorang yang selalu memberikan dukungan, semangat dan ketenangan di setiap proses penyusunan laporan ini. Kehadiran dan perhatian yang sederhana berarti menjadi salah satu sumber motivasi yang membuat penulis terus berusaha menyelesaikan laporan hingga tahap ini.

Referensi

- [1] Annisa, Winarso, and W. Dwiono, "4928-11847-1-Sm," vol. 1, no. 1, pp. 37–53, 2019.
- [2] J. Homepage and Mc. Al Furqon, "IJEERE: Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy EFFECT OF CHANGES IN SYNCHRONOUS GENERATOR LOAD ON THE EXCITATION SYSTEM CASE STUDY OF PT. PLN INDONESIA POWER UPK PLTA MANINJAU PENGARUH PERUBAHAN BEBAN GENERATOR SINKRON TERHADAP ," vol. 4, no. 2, pp. 91–98, 2025.
- [3] T. Sitompul, A. Atmam, and D. Setiawan, "analisis Pengontrolan Tegangan Medan Generator Sinkron Terhadap Perubahan Beban Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC)," *Jurnal Teknik*, vol. 15, no. 1, pp. 66–75, 2021, doi: 10.31849/teknik.v15i1.6254.
- [4] S. Penguatan, J. Husna, R. Harahap, and Z. Pelawi, "Sistem Penguatan Medan Magnet Tanpa Sikat Pada Generator Sinkron," *Journal of Electrical Technology*, vol. 10, no. 2, 2025.
- [5] Z. Muna, Syahputra, Fauzan, and Julianto, "Studi Perubahan Beban Terhadap Tugi-Rugi Daya Output Generator Sinkron Tiga Phase 20 MW Pada Generator Turbin Gas Unit 2 Pada PT Pupuk Iskandar Muda," *Jurnal Tektro*, vol. 7, no. 1, pp. 112–117, 2023.
- [6] A. Wibisono, G. T. Aaron, and S. Riyadi, "Analisis Kinerja Generator Sinkron Tiga Fasa pada Pembebanan Resistif," *Cyclotron*, vol. 7, no. 01, pp. 20–26, 2024, doi: 10.30651/cl.v7i01.21268.
- [7] Abrar Tanjung, Zafid Maulana, and Hazra Yuvendius, "Analisis Generator Sinkron Unit 2 Akibat Overheating Di Pembangkit Listrik Tenaga Gas MPP Balai Pungut," *SainETIn : Jurnal Sains, Energi, Teknologi, dan Industri*, vol. 7, no. 2, pp. 33–41, 2023, doi: 10.31849/sainetin.v7i2.10840.
- [8] J. Purnomo and M. Effendy, "Analisa Pengaruh Load Capacity Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Awar-Awar 350 MW Terhadap Efisiensi Turbin Generator QFSN-350-2 Unit 1," *Jptm*, vol. 7, no. 2, pp. 43–49, 2018.
- [9] M. A. Izzati, R. Nazir, A. Cyntia, and P. De Yudanur, "Magnet Synchronous Generator (Pmsg) 12 Slot 8 Pole Menggunakan," vol. 11, no. 2, pp. 453–465, 2026.
- [10] H. F. Wibowo, P. Jannus, and B. Nainggolan, "Analisis Efisiensi dan Rugi-rugi Daya Pada Generator Terhadap Kinerja Generator PLTMG SPBG Klender," pp. 1652–1660, 2024.
- [11] A. S. Ramadhan, "Analisis Efisiensi Generator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas Sebagai Power Supply Di Spbg Lampung," pp. 1483–1489, 2025.
- [12] O. S. Clever, "Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator Di Pltu Embalut Unit 3," *ELECTROPS Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 2964–2086, 2023, [Online]. Available: <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TE>