

PENGARUH VARIASI BEBAN TERHADAP EFISIENSI GENERATOR DI PT. PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY AREA KARAHA

Ragil Abi Pamungkas¹, Andri Ulus Rahayu²

Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Siliwangi ^{1,2}

Email: ragilabipamungkas12@gmail.com

Informasi	Abstract
Volume : 3 Nomor : 2 Bulan : Februari Tahun : 2026 E-ISSN : 3062-9624	<p><i>PLTP atau pembangkit listrik tenaga panas bumi area Karaha merupakan salah satu pembangkit yang memanfaatkan sumber energi terbarukan yaitu panas bumi. Pengoperasiannya memanfaatkan uap (steam) dari reservoir dalam tanah untuk menggerakkan turbin pada generator. Oleh sebab itu, diperlukan kinerja generator yang efisien dalam menjaga kinerja pembangkitan energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi generator yang didapatkan dari perbandingan antara daya input dan daya output. Menggunakan metode perhitungan manual dengan data pada tanggal 1 sampai 17 bulan Agustus 2025. Hasil perhitungan menunjukan bahwa efisiensi generator berada pada kisaran 94,4%-95,6%, yang mengindikasikan bahwa generator beroperasi secara stabil dan mendekati kondisi optimal. Variasi efisiensi yang terjadi dipengaruhi oleh perubahan beban generator, dimana efisiensi cenderung menurun pada kondisi beban parsial dan meningkat saat mendekati beban nominal. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukan bahwa perubahan beban memiliki pengaruh terhadap efisiensi generator, namun sistem generator PLTP PGE Area Karaha masih beroperasi dengan kinerja yang andal.</i></p> <p>Kata Kunci: Generator, Efisiensi, PLTP</p>

A. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) area Karaha merupakan pembangkit dengan penggunaan energi ramah lingkungan berbasis sumber daya panas bumi [1]. PLTP memanfaatkan uap (*steam*) dari *reservoir* panas bumi didalam tanah untuk membuat generator menghasilkan energi listrik. Generator merupakan sistem utama yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik [2]. Kinerja dari generator, dipengaruhi oleh pembebanannya baik beban internal *powerplant* maupun beban yang disalurkan ke jalur transmisi. Dalam pengoperasiannya, terdapat banyak masalah yang terjadi, termasuk mengenai efisiensi dari generator [2]. Apabila dalam pengoperasian tersebut dibawah kemampuan dari generator maka akan terjadi pemanasan berlebih pada generator (*overheat*) [3]. *Overheat* ini dapat mengakibatkan kerusakan isolasi pada rotor atau stator di generator.

PLTP PGE area Karaha memiliki unit pembangkitan berkapasitas 30 MW yang telah beroperasi pada 6 April 2018 [4] dengan kondisi beban untuk *internal powerplant* sekitar 2,2 MW yang beroperasi dalam kondisi beban bervariasi setiap harinya. Kondisi tersebut memberikan peluang untuk menganalisis perubahan beban dapat memengaruhi efisiensi generator. Mengingat efisiensi generator merupakan salah satu parameter utama dalam kinerja pembangkit yang optimal dan pengendalian biaya operasional.

LANDASAN TEORI

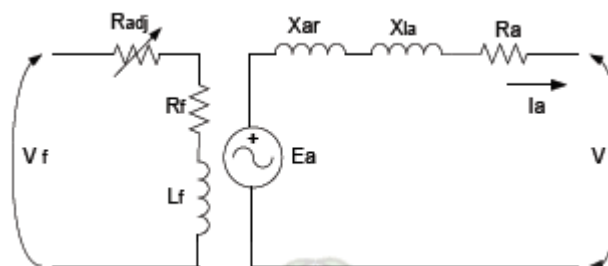
A. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) merupakan salah satu jenis pembangkit yang memanfaatkan energi panas yang tersimpan didalam tanah sebagai sumber energi. Energi panas bumi berasal dari aktivitas geologi berupa pemanasan fluida oleh magma inti bumi pada kedalaman tertentu. Fluida berupa air dan uap (*steam*) di *filtrasi* kemudian disalurkan ke turbin yang dikopel dengan generator sehingga menghasilkan energi listrik[5][6].

B. Generator dan Rangkaian Ekuivalen

Generator merupakan salah satu komponen utama dalam menghasilkan energi listrik dengan cara mengubah energi mekanik menjadi listrik. Perangkat utama generator terdiri atas rotor yang berputar akibat putaran poros turbin dan stator yang menghasilkan arus listrik melalui proses induksi elektromagnetik.

Stator merupakan rangkaian yang terdiri dari kumparan dengan resistansi (R_a) dan induktansi (L). Saat generator beroperasi, ada fluks yang tidak berkontribusi pada proses induksi dan menjadi fluks residu yang dikenal sebagai reaktansi bocor (X_A). Rangkaian ekuivalen generator adalah sebagai berikut.



Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalen

C. Rugi-rugi pada Generator

Efisiensi generator yang kurang mengakibatkan tidak semua energi mekanik menjadi energi atau tenaga listrik. Efisiensi tersebut dapat dilihat dari perbandingan daya input dan

daya output. Perbedaan keduanya menunjukkan kerugian dalam efisiensi generator. Berkurangnya daya output, dikarenakan kurang efisiensi kinerja generator.

a. Rugi-rugi tembaga

Pada kerugian tembaga biasanya terjadi dibagian tembaga pada komponen diam yaitu stator. Rugi-rugi tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P_{cu} = 3I^2R_s$$

b. Rugi-rugi mekanik

Rugi mekanik biasanya terjadi akibat adanya gesekan dari permukaan komponen yang timbul pada generator. Didapat menggunakan persamaan berikut.

$$P_{mech} = 0,5 \times \text{rated power}$$

c. Rugi-rugi besi

Rugi-rugi ini muncul ketika panas terbentuk pada bagian stator maupun rotor akibat dua mekanisme utama, yaitu arus pusar (*eddy current*) serta *hysteresis magnetic*. Untuk meminimalkan kerugian ini, inti stator biasanya dibuat dengan lembaran tipis baja silikon yang dilaminasi dan diisolasi satu sama lain. Struktur berlapis ini berfungsi untuk menghambat arus pusar serta mengurangi efek *hysteresis*. Dengan demikian, kerugian inti besi merupakan penjumlahan dari kerugian arus pusar dan kerugian *hysteresis*, dengan rumus berikut ini[7].

$$P_{fe} = 0,7 + \text{Rated power}$$

d. Rugi-rugi stray

Rugi beban stray merupakan kerugian tambahan yang timbul akibat arus pusar pada konduktor tembaga serta efek-efek parasite di inti besi. Kerugian ini muncul karena ketidak sempurnaan distribusi fluks magnetik saat generator memikul beban. Rugi beban stray tidak termasuk dalam kategori rugi mekanik, rugi inti besi, maupun rugi tembaga utama. Dalam perhitungannya besarnya diperkirakan sekitar kurang lebih 1-0,5% dari P_{out} , sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut[7].

$$P_{stray} = 0,5\% \times P_{out}$$

D. Efisiensi Generator

Perbandingan antara P_{in} dan P_{out} menjadi konsep dari efisiensi generator, bahkan konsep ini juga berlaku untuk komponen listrik lain seperti transformator. Rumus efisiensi generator adalah sebagai berikut.

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

jika melakukan perhitungan efisiensi secara tidak langsung dapat memasukan perhitungan rugi-rugi daya total dengan rumus sebagai berikut[7].

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

Keterangan :

P_{in} = Daya masuk (W)

P_{out} = Daya keluar (W)

η = Efisiensi generator

B. METODE PENELITIAN

A. Studi literatur

Penelitian ini diawali dengan studi literatur yang didapatkan dari referensi pustaka agar penyusunan penelitian ini sistematis dan memudahkan langkah-langkah yang diambil.

B. Metode observasi

Penelitian dilakukan di PT. Pertamina Geothermal Energy area Karaha untuk mendapatkan data yang akan diteliti. Pengambilan data dilakukan saat Kerja Praktek (KP) yang didapatkan dari *manual book*, *record data*, dan lain sebagainya.

Data generator di PLTP PGE area Karaha dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. 1 Data Generator

No.	Keterangan	Nilai
1	Terminal Voltage	13 800 V
2	Frekuensi	50 Hz
3	Speed	3000 rpm
4	Power Factor	0.8 Lagging
5	Standar	IEC 60034-3
6	Coolant	Water at 32,5
7	Output	43500 kVA (34 800 kW)
8	Tahanan Stator per Fasa	0.015 Ω

Tabel 3. 2 Data Pembebanan PLTP tanggal 1-17 Agustus 2025

Tanggal	Tegangan Aktual	Arus Aktual	Tegangan Eksitasi Aktual	Arus Eksitasi Aktual	Tegangan Jalur	Frek	PF	Arus Jalur	Daya Aktif	Daya reaktif	Beban Internal
	(V)	(A)	(VDC)	(A)	(kV)	(Hz)	PF	(A)	(MW)	(MVar)	(MW)
1	0,093	0,048	13,289	2,105	13,151	47,931	0,947	571,515	13,434	2,003	1,143
2	0,385	0,05	13,964	2,202	13,737	50,023	0,989	597,234	14,044	2,119	1,218
3	0,95	0,051	13,848	2,187	13,692	50,03	0,989	595,485	13,968	2,096	1,144
4	0,096	0,052	10,988	1,743	10,852	48,95	0,572	468,99	11,002	1,651	0,849
5	0,076	0,05	14,199	2,245	13,733	50,02	0,987	614,966	14,473	2,147	1,648
6	0,101	0,05	14,475	2,286	13,718	50,019	0,989	652,356	15,338	2,28	2,51
7	0,096	0,05	14,44	2,281	13,698	50,026	0,989	655,757	15,399	2,254	2,573
8	0,097	0,05	14,492	2,283	13,703	50,028	0,989	660,551	15,507	2,28	2,682
9	0,097	0,05	14,467	2,269	13,686	50,022	0,988	655,484	15,38	2,287	2,555
10	0,09	0,05	14,317	2,261	13,68	50,027	0,989	653,074	15,311	2,294	2,485
11	0,108	0,05	14,398	2,267	13,731	50,023	0,988	645,922	15,195	2,279	2,369
12	0,099	0,05	14,452	2,28	13,76	50,037	0,989	653,45	15,413	2,29	2,587

13	0.088	0.049	14.202	2.244	13.522	50.017	0.989	665.377	15.424	2.278	2.599
14	0.112	0.05	14.38	2.289	13.742	50.034	0.989	658.186	15.509	2.28	2.683
15	0.112	0.049	14.396	2.29	13.712	50.014	0.989	664.913	15.628	2.294	2.806
16	0.14	0.049	14.313	2.259	13.754	50.041	0.989	636.093	14.999	2.228	2.174
17	0.149	0.049	14.315	2.259	13.716	50.035	0.988	640.912	15.077	2.258	2.252

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan nilai efisiensi maka dilakukan perhitungan berikut ini menggunakan data pada tanggal 13 agustus 2025.

1. Rugi-rugi beban penuh menggunakan persamaan berikut ini.

- *Rated power* = 34.8 MW
- Tegangan: $V = 13,8 \text{ kV}$
- $I_{avg} = 2,20 \text{ kA}$
- Daya generator

$$P_{out} = 15,424 \text{ MW}$$

2. Rugi-rugi tembaga pada generator dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_{cu} = 3I^2R_s$$

$$P_{cu} = 3 \times (2200)^2 \times 0,015$$

$$P_{cu} = 217,8 \text{ kW}$$

3. Menghitung rugi-rugi mekanik (gesekan bantalan dan ventilasi) dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_{mech} = 0,5 \times 34,8$$

$$P_{mech} = 174 \text{ kW}$$

4. Perhitungan rugi-rugi besi (*iron losses*) didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_{fe} = 0,7 \times 34,8$$

$$P_{fe} = 243,6 \text{ kW}$$

5. Menghitung rugi-rugi stray ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_{stray} = 0,005 \times P_{out}$$

$$P_{stray} = 0,005 \times 15,424$$

$$P_{stray} = 41,7 \text{ kW}$$

6. Total rugi-rugi generator didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_{total} = P_{cu} + P_{fe} + P_{mech} + P_{stray}$$

$$P_{total} = 217,8 + 243,6 + 174 + 77,1$$

$$P_{total} = 712,5 \text{ kW}$$

7. Maka, daya masuk didapatkan dengan sebagai berikut.

$$P_{in} = P_{out} + P_{total}$$

$$P_{in} = 15,424 + 0,713$$

$$P_{in} = 16,137 \text{ MW}$$

8. Perhitungan efisiensi generator didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

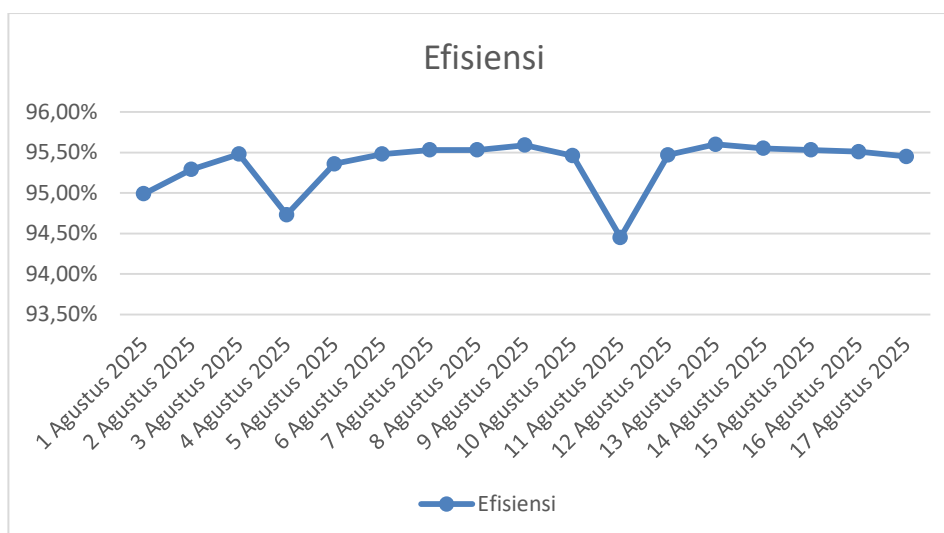
$$\eta = \frac{15,424}{16,137} \times 100\%$$

$$\eta = 95,6\%$$

Tanggal	P _{in} (MW)	P _{out} (MW)	Efisiensi (η)
1 Agustus 2025	14.142	13.434	94.99%
2 Agustus 2025	14.738	14.044	95.29%
3 Agustus 2025	14.630	13.968	95.48%
4 Agustus 2025	11.614	11.002	94.73%
5 Agustus 2025	15.177	14,473	95.36%
6 Agustus 2025	16.064	15,338	95.48%
7 Agustus 2025	16.121	15,399	95.53%
8 Agustus 2025	16.233	15,507	95.53%
9 Agustus 2025	16.107	15,38	95.59%
10 Agustus 2025	16.040	15,311	95.46%
11 Agustus 2025	15.920	15,195	94.45%
12 Agustus 2025	16.144	15.413	95.47%
13 Agustus 2025	16,137	15,424	95,6%
14 Agustus 2025	16.231	15,509	95.55%
15 Agustus 2025	16,358	15.628	95,53%
16 Agustus 2025	15,704	14,999	95.51%
17 Agustus 2025	15,795	15,077	95.45%

Gambar 4.1 Hasil Perhitungan Beban pada Generator

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama pada tanggal 13 agustus 2025, maka diperoleh rugi-rugi daya serta efisiensi dari tanggal 1 agustus 2025 sampai tanggal 17 agustus 2025 yang tercantum pada tabel tersebut.



Gambar 4. 2 Grafik Hasil Penelitian

Berdasarkan grafik hasil perhitungan dari tanggal 1 agustus hingga 17 agustus 2025 di PLTP PGE area Karaha, diperoleh bahwa nilai efisiensi berada pada kisaran 94,4%-95,6%. Menandakan kinerja generator relatif stabil dan berada dekat dengan kondisi optimal. Pada awal pengamatan, efisiensi cenderung meningkatkan seiring dengan naiknya keluaran generator. Kondisi ini mengindikasikan bahwa generator beroperasi pada beban yang lebih mendekati beban nominal, sehingga pengaruh rugi-rugi tetap terhadap total daya menjadi relative lebih kecil.

Penurunan efisiensi terlihat pada 4 agustus dan mencapai nilai terendah pada 12 agustus, yang berkorelasi dengan penurunan daya keluaran generator. Pada kondisi beban parsial, proporsi rugi-rugi tetap seperti rugi besi dan rugi mekanik menjadi lebih dominan, sehingga efisiensi menurun. Namun demikian, pada hari-hari berikutnya efisiensi kembali meningkat dan stabil hingga akhir periode pengamatan, yang menunjukkan bahwa sistem generator beroperasi secara andal dan tidak mengalami gangguan signifikan selama periode tersebut.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis efisiensi generator di PLTP PT. Pertamina Geothermal Energy Area Karaha pada periode 1-17 Agustus 2025, diperoleh bahwa nilai efisiensi generator berada pada kisaran 94,4% hingga 95,6%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa generator beroperasi dengan kinerja yang relatif stabil dan mendekati kondisi optimal. Perhitungan efisiensi dilakukan melalui perbandingan antara daya masuk dan daya keluaran generator dengan mempertimbangkan komponen rugi-rugi, yang meliputi rugi tembaga, rugi besi, rugi mekanik, dan rugi stray sesuai dengan pendekatan standar IEC.

Variasi efisiensi yang terjadi selama periode pengamatan dipengaruhi oleh perubahan beban generator. Dimana efisiensi cenderung menurun pada kondisi beban parsial akibat meningkatnya proporsi rugi-rugi tetap terhadap daya keluaran. Sebaliknya, ketika generator beroperasi mendekati beban nominal. Efisiensi menunjukkan nilai yang lebih tinggi dan stabil. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan beban memiliki pengaruh terhadap efisiensi generator. Namun, sistem generator di PLTP PGE Area Karaha masih beroperasi secara andal.

E. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Manguma, A. Sompotan, and J. Nusa, "Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Generator Di Unit 2 Pltp Lahendong," *J. FisTa Fis. dan Ter.*, vol. 2, no. 2, pp. 109–113, 2021, doi: 10.53682/fista.v2i2.139.
- [2] 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.
- [3] R. Kambey, M. Tuegeh, A. F. Nelwan, M. Pakiding, J. T. Elektro-ft, and A. G. Sinkron, "Simulasi Keamanan Kerja Generator PLTP Lahendong 4," p. 1, 2012.
- [4] "Laporan Magang Industri Pt . Pertamina Geothermal Energy Area Bearing Padc , Pembangkitan Dan Vacum Condenser Di Pt . Pertamina Geothermal," 2024.
- [5] P. S. Headquarters, S. T. Engineering, P. S. Headquarters, S. T. Engineering, and P. S. Headquarters, "Introduction to the Features and Technology of Geothermal Power Plants , Which Contribute to the Prevention of Global Warming," vol. 47, no. 1, pp. 26–29, 2010.
- [6] N. A. Pambudi, R. Itoi, and S. Jalilinasrabady, "PERFORMANCE EVALUATION OF DOUBLE-FLASH GEOTHERMAL POWER PLANT AT DIENG USING SECOND LAW OF THERMODYNAMICS," 2013.
- [7] Z. A. A. S, P. Jannus, and B. Nainggolan, "Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Generator PLTMG Gunung Belah," pp. 1940–1948, 2022.