

Analisa Efisiensi Kinerja Generator G-101 Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Arrdy Kusumma Wijaya, Dedi Nugroho, dan Agus Adhi Nugroho

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Correspondence Author: agusadhi@unissula.ac.id

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) adalah pembangkit tenaga listrik yang dihasilkan dari panas bumi. Pada dasarnya prinsip kerja PLTU dan PLTP hampir sama yaitu dengan memanfaatkan uap panas bumi untuk memutar turbin. Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) biasanya memanfaatkan uap yang bersumber dari reservoir panas bumi untuk memutar turbin agar dapat membuat generator bergerak dan menghasilkan energi listrik. Efisiensi merupakan persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui seberapa baik konversi energi yang terjadi. Daya masukan generator berupa daya mekanik karena turbin dan generator dikopel dan bekerja bersama untuk menghasilkan daya keluaran menjadi daya listrik. Efisiensi generator akan mempengaruhi kinerja dari sistem PLTP, semakin besar efisiensi dari generator maka keandalan sistem juga semakin baik. Selama beroperasi diperkirakan efisiensi generator mengalami penurunan akibat beberapa faktor seperti rugi-rugi daya generator, generator trip, faktor lamanya pemeliharaan, atau kesalahan dalam pengoperasian. PLTP Unit 1 PT. Geo Dipa Energi Dieng merupakan PLTP yang beroperasi untuk terkoneksi dengan sistem tenaga listrik Jawa-Bali. Permasalahan yang sering terjadi adalah apakah performa dari generator PLTP Unit 1 PT. Geo Dipa Energi Dieng mampu bekerja secara maksimal untuk terkoneksi dengan sistem tenaga listrik Jawa-Bali. Penyebab kinerja dari generator adalah generator yang sudah bekerja terjadi penurunan beban (derating), trip (unit shutdown), lamanya pemeliharaan, kesalahan dalam beroprasi, perawatannya dan lain sebagainya. Akibat dari kinerja generator yang tidak maksimal adalah dapat membuat penurunan untuk performa dari sistem tenaga listrik Jawa-Bali. Solusi untuk permasalahan tersebut adalah perlu dilakukan kembali mengenai analisa performa dari generator tersebut.

Keyword : PLTP, Efisiensi, Generator

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) adalah pembangkit tenaga listrik yang dihasilkan dari panas bumi. Cara pemanfaatannya adalah dengan membuat sumur dengan kedalaman mencapai titik panas bumi, lalu panas bumi tersebut dialirkan melalui pipa-pipa untuk memutar turbin. Pada dasarnya prinsip kerja PLTU dan PLTP hampir sama yaitu dengan memanfaatkan uap panas bumi untuk memutar turbin. Dalam perut bumi ternyata menyimpan potensi energi listrik yang sangat besar. Interaksi panas yang dihasilkan magma dan kandungan air diantara lapisan batuan membentuk reservoir uap alami yang dapat digunakan untuk menggerakkan turbin dan membangkitkan listrik dari generator. Tidak berbeda jauh dengan pembangkit listrik lainnya yang bertenaga uap, gas dan diesel, hanya saja uap yang dibutuhkan sudah diperoleh langsung dari perut bumi[1].

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) biasanya memanfaatkan uap yang bersumber dari reservoir panas bumi untuk memutar turbin agar dapat membuat generator bergerak dan menghasilkan energi listrik. Kuantitas uap yang diperlukan harus cukup banyak untuk memutar turbin juga tekanan dan temperatur harus dalam keadaan yang tepat agar uap yang dihasilkan cukup untuk memutar turbin[2]. Efisiensi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya keluaran (*output*) terhadap daya masukan (*input*) dalam suatu proses. Efisiensi merupakan persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui seberapa baik konversi energi yang terjadi. Daya masukan generator berupa daya mekanik karena turbin dan generator dikopel dan bekerja bersama untuk menghasilkan daya keluaran menjadi daya listrik. Semakin besar nilai efisiensi generator maka semakin besar juga daya output yang dihasilkan. Efisiensi generator akan mempengaruhi kinerja dari sistem PLTP, semakin besar efisiensi dari generator maka keandalan sistem juga semakin baik. Selama beroperasi diperkirakan efisiensi generator mengalami penurunan akibat beberapa faktor seperti rugi-rugi daya generator, generator trip, faktor lamanya pemeliharaan, atau kesalahan dalam pengoperasian. Oleh karena itu, ketertarikan penulis untuk mempelajari dan menganalisis efisiensi generator di PLTP Unit 1 PT. Geo Dipa Energi Dieng[3].

PLTP Unit 1 PT. Geo Dipa Energi merupakan PLTP yang beroperasi untuk terkoneksi dengan sistem tenaga listrik Jawa-Bali.

Permasalahan yang sering terjadi adalah apakah performa dari generator PLTP Unit 1 PT. Geo Dipa Energi mampu bekerja secara maksimal untuk terkoneksi dengan sistem tenaga listrik Jawa-Bali. Penyebab kinerja dari generator adalah generator yang sudah bekerja terjadi penurunan beban (*derating*), trip (unit *shutdown*), lamanya pemeliharaan, kesalahan dalam beroperasi, perawatannya dan lain sebagainya[4]. Akibat dari kinerja generator yang tidak maksimal adalah dapat membuat penurunan untuk performa dari sistem tenaga listrik Jawa-Bali. Solusi untuk permasalahan tersebut adalah perlu dilakukan kembali mengenai analisa performa dari generator tersebut.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Model Penelitian

Model penelitian yang digunakan peneliti dalam penelitian Analisa Efisiensi Kinerja Generator G-101 PLTP Unit 1 PT. Geo Dipa Energi Dieng menggunakan model penelitian kuantitatif. Adapun teknik pengumpulan datanya yaitu dengan melakukan studi literatur dan melakukan observasi pada lapangan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan seperti data spesifikasi generator dan data pembebanan generator pada PLTP Unit 1 PT. Geo Dipa Energi Dieng. Data-data yang telah penulis dapatkan nantinya akan dihitung untuk mengetahui nilai-nilai yang diperlukan sehingga penulis dapat menganalisanya.

2.2. Turbin Uap

Turbin uap merupakan komponen utama pembangkit listrik. Turbin merupakan alat yang berfungsi mengubah energi potensial uap yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Uap yang dihasilkan panas bumi digunakan untuk memutar sudu-sudu turbin yang dikopel langsung dengan generator. Bagian turbin yang berputar biasa disebut rotor, sedangkan bagian yang tidak berputar disebut stator[5]. Turbin yang digunakan di PLTP PT. Geo Dipa Energi Dieng Unit 1 adalah tipe turbin *double flow* dengan kecepatan putar turbin sebesar 3000 rpm.

Di dalam turbin, fluida kerja (uap) secara kontinyu mengalami ekspansi, yaitu proses penurunan tekanan. Fluida kerja mengalir melalui ruang di antara sudu-sudu pada roda turbin yang mengakibatkan sudu-sudu turbin mendapat gaya sehingga roda turbin berputar. Gaya tersebut timbul karena terjadi perubahan momentum dari fluida kerja yang mengalir diantara sudu-sudunya.



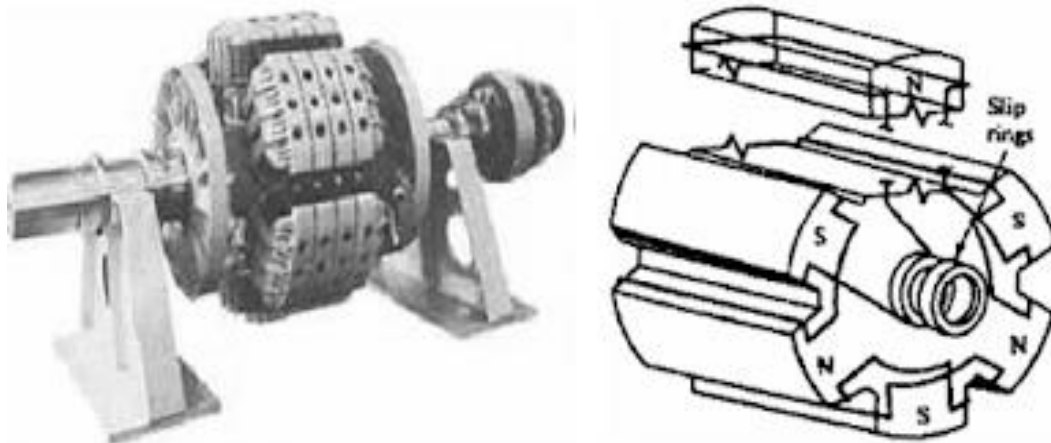
Gambar 1 Turbin Uap PLTP Unit 1 PT. Geo Dipa Energi Dieng

Tabel 1 Spesifikasi Turbin Uap

Manufacture	Ansaldo Energia
Stage dan Jumlah Sudu	7 + 7 Stage, 14 Blades Double Flow
Kapasitas	60 MW
Tekanan Uap Masuk	9.8 Bar
Tekanan Uap Keluar	0.08 Bar
Putaran	3000 Rpm

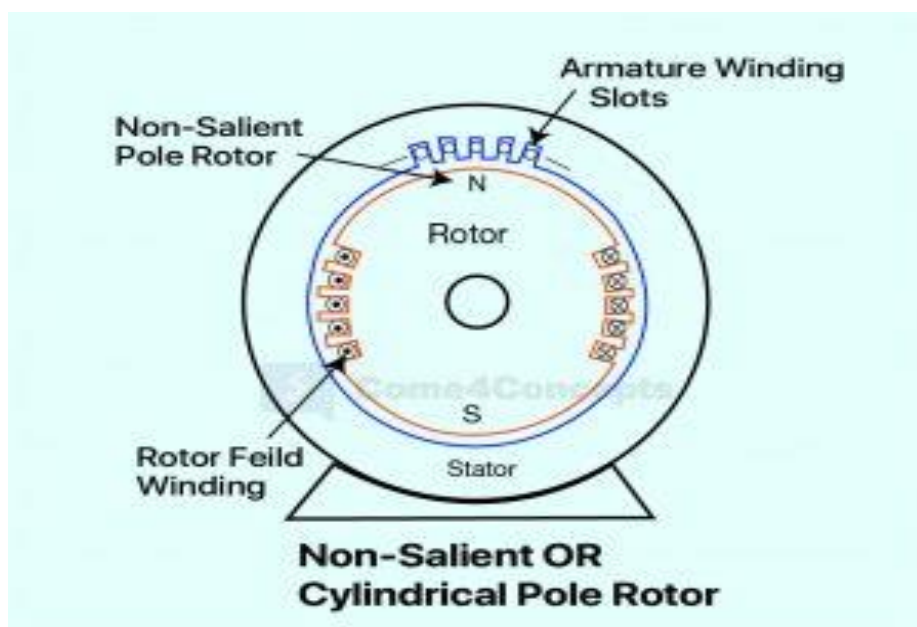
2.2. Kontruksi Generator

Menurut *Kundur Prabha* (1993), generator sinkron memiliki dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian diam yang mengeluarkan tegangan bolak-balik dan rotor adalah bagian gerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator. Rotor generator diputar oleh *prime mover* dan menghasilkan medan magnet putar pada mesin. Medan magnet putar ini akan menginduksi tegangan tiga fasa pada kumparan stator generator. Rotor generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah electromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa *salient pole* (kutub sepatu) dan *non salient pole* (rotor silinder). Pada gambar dibawah ini menunjukkan bentuk rotor kutub sepatu (*salient pole*)[6][7].



Gambar 2 Rotor Salient (kutub sepatu)

Rotor silinder umumnya digunakan untuk rotor dua kutub dan empat kutub, sedangkan untuk rotor kutub sepatu digunakan untuk empat kutub atau lebih. Pemilihan konstruksi rotor tergantung dari kecepatan putar *prime mover* frekuensi dan rating daya generator. Generator dengan kecepatan 1500 rpm keatas pada frekuensi 50 Hz dan rating daya sekitar 10 MVA menggunakan rotor silinder dan untuk rating daya dibawah 10 MVA dengan kecepatan rendah maka menggunakan rotor kutub sepatu. Pada gambar dibawah ini menunjukkan bentuk rotor kutub silinder (*non salient pole*).



Gambar 3 Rotor Non Salient (silinder)

Tabel 2 Spesifikasi Generator G-101 PLTP Unit 1 PT. Geo Dipa Energi Dieng

Manufaktur	TR 2-75000 Ansaldo Energia
Nomor Seri	TP-2-75000-3000-15000
Kapasitas	60 MW/75.000 KVA
Tegangan	15.000 V
Arus	2.887 A
Frekuensi	50 Hz
Power Factor	0.8
Phase	3
Rotational Velocity	3.000 rev/min
Escaping Velocity	3.600 rev/min
Resistansi Stator	0,00348 ohm
Resistansi Rotor	0,138 ohm

2.3. Efisiensi Generator

Dalam generator uap, bahan bakar dibakar di ruang tembak yang dilapisi sebuah boiler untuk memindahkan panas melalui pipa logam ke fluida kerja. Air yang bersirkulasi melalui boiler diubah menjadi uap bertekanan dan bersuhu tinggi. Selama konversi kimia menjadi energi panas, kerugian pada siklus adalah 10%, terjadi karena pembakaran yang tidak lengkap dan hilangnya panas ke atas tumpukan. Steam bertekanan tinggi diperoleh untuk memutar turbin dan poros pada generator, tetapi untuk peningkatan efisiensi dimana uap buang dari turbin bertekanan lebih tinggi dipanaskan kembali dan dikirim ke turbin bertekanan lebih rendah[8]. Efisiensi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya keluaran (*output*) terhadap daya masukan (*input*) dalam suatu proses. Efisiensi merupakan persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui seberapa baik konversi energi yang terjadi. Daya masukan generator berupa daya mekanik karena turbin dan generator dikopel dan bekerja bersama untuk menghasilkan daya keluaran menjadi daya listrik. Semakin besar nilai efisiensi generator maka semakin besar juga daya output yang dihasilkan[9]. Untuk menghitung efisiensi generator dapat diperoleh dengan persamaan (2.5).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

Selain itu efisiensi generator juga akan mempengaruhi kerja dari sistem pembangkit secara keseluruhan. Efisiensi dari generator dapat mengalami penurunan akibat adanya beberapa faktor antara lain rugi-rugi daya yang timbul pada generator, lamanya waktu operasi generator dan proses pemeliharaan. Seperti yang kita ketahui daya masukan generator berupa energi mekanik dari turbin. Sehingga daya masukan generator akan sama dengan daya keluaran turbin, karena generator dan turbin di kopel dan bekerja bersama. Untuk mencari daya yang dihasilkan turbin dapat dicari dengan melakukan perhitungan entalpi dan entropi.

Berikut adalah langkah-langkah untuk mencari efisiensi generator dengan metode penurunan entalpi :

1. Mencari h_1 (Kj/Kg) dan S_1 (Kj/Kg K) pada tekanan uap masuk turbin (P_1).
2. Mencari nilai s_f , s_g , s_{fg} (Kj/Kg K), h_f dan h_g (Kj/Kg) pada tekanan uap keluar turbin (P_2).
3. Mencari Fraksi Uap (x)

$$x = \frac{S_1 - S_f}{S_g - S_f} \quad (2)$$

4. Mencari Entalpi Uap keluar Turbin (h_2)

$$h_2 = h_f + (x \cdot h_{fg}) \text{ (Kj/gK)} \quad (3)$$

5. Mencari Kerja Turbin Uap (W_t)

$$W_t = h_1 - h_2 \text{ (Kj/Kg)} \quad (4)$$

6. Mencari Daya Isentropik Turbin (P_{st})

$$P_{st} = \text{Laju air massa uap} \times W_t \text{ (MW)}$$

$$P_{st} = m \times W_t \text{ (MW)} \quad (5)$$

7. Daya Aktual Turbin / Daya Input Generator (P_{in})

$$P_{in} = P_{st} \times \text{turbin} \text{ (MW)} \quad (6)$$

8. Mencari Efisiensi Turbin η_{gen}

$$\eta_{gen} = \frac{\text{Beban}}{\text{Daya input generator}} \times 100\% = \frac{\text{Beban}}{P_{in}} \times 100\% \quad (7)$$

2.4. Data Pembebanan Generator

Berikut adalah data pembebanan dari Generator G-101 PLTP PT. Geo Dipa Energi Unit 1 Dieng. Data yang diambil tercatat dari tanggal 23 Agustus 2021 sampai 29 Agustus 2021 :

Tabel 3 Data Pembebanan Generator Pada Hari Senin

HARI	JAM (WIB)	DAYA (MW)	FAKTOR DAYA (Cos Phi)	ARUS (A)	FREKUENSI (Hz)	TEGANGAN (V)
Senin	08.00	46,66	0.79	1829	50	14882
	10.00	45,64	0.78	1821	50	14731
	12.00	45,68	0.78	1821	50	14674
	14.00	45,58	0.78	1826	50	14621
	16.00	45,56	0.82	1802	50	14650
	18.00	45,57	0.82	1775	50	14867
	20.00	45,85	0.83	1785	50	14880
	22.00	46,05	0.83	1802	50	14868
	00.00	45,97	0.88	1771	50	15059
	02.00	45,86	0.86	1760	50	15041
	04.00	46,02	0.86	1768	50	15034
	06.00	46,03	0.81	1806	50	14841

2.5. Data Tekanan Uap dan Aliran Massa Uap

Berikut ini merupakan data laju uap, tekanan uap masuk dan tekanan uap keluar di PLTP PT. Geo Dipa Energi Unit 1 Dieng dari tanggal 23 Agustus 2021 sampai 29 Agustus 2021.

Tabel 4 Data Tekanan Uap dan Aliran Massa Uap Pada Hari Senin

HARI	JAM (WIB)	Tekanan Masuk (bar)	Tekanan Keluar (bar)	Aliran Massa Uap (kg/h)
Senin	08.00	8,51	0,081	326000
	10.00	8,50	0,083	326000
	12.00	8,48	0,088	324000
	14.00	8,50	0,087	321000
	16.00	8,50	0,089	325000
	18.00	8,49	0,085	325000
	20.00	8,50	0,078	321000
	22.00	8,50	0,085	328000
	00.00	8,50	0,076	323000
	02.00	8,50	0,078	324000
	04.00	8,50	0,078	324000
	06.00	8,50	0,081	326000

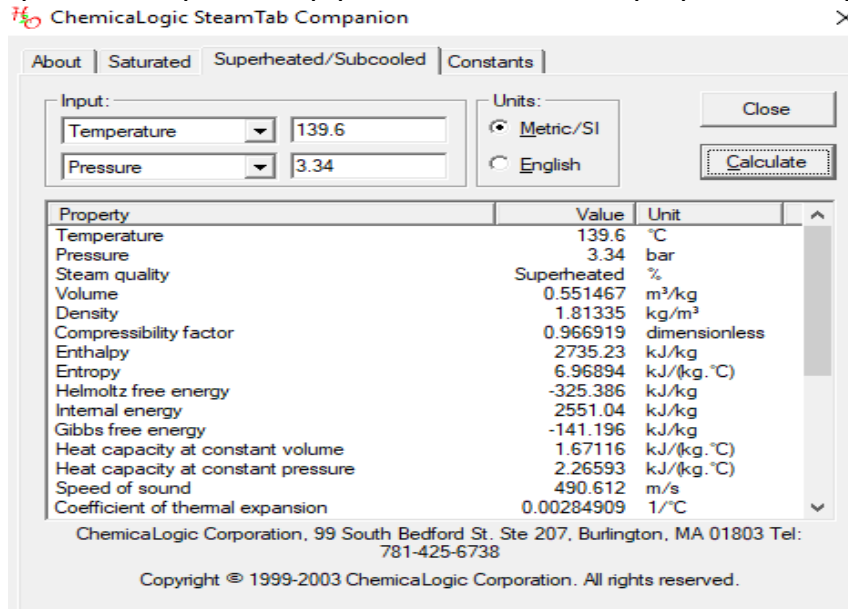
2.6. Perhitungan Entalpi dan Entropi Turbin Uap

Entalpi merupakan istilah dalam termodinamika yang menyatakan jumlah internal yang terdapat dalam sebuah sistem termodinamika ditambah dengan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan aktifitas pada suatu materi. Total entalpi (H) tidak dapat diukur secara langsung hanya dapat dinilai perubahannya saja seperti yang terjadi pada sistem mekanika klasik. Sedangkan entropi adalah suatu besaran termodinamika yang berfungsi untuk mengukur energi dalam satuan temperatur yang tidak dapat digunakan untuk melakukan usaha. Entropi dari sebuah sistem tertutup akan selalu naik dan pada kondisi transfer kalor maka energi kalor akan berpindah dari komponen yang bersuhu tinggi ke komponen yang bersuhu rendah. Untuk menentukan nilai entalpi dan entropi dari uap yang digunakan dalam sistem pembangkit pada penelitian ini dapat menggunakan *steam table* yang bersifat *saturated*. Jika data tekanan maupun suhu tidak tepat, maka perlu dilakukan interpolasi data. Pada penelitian ini dapat menggunakan cara interpolasi data, dimana hal ini dimaksud untuk menentukan nilai yang berada diantara dua nilai yang diketahui. Interpolasi ini didasarkan pada teori perbandingan [10]. Adapun pada penelitian ini perbandingan yang

dilakukan antara nilai tekanan uap masuk turbin dengan entalpi saturated vapor (h_1), nilai tekanan uap masuk turbin dengan entropi saturated vapor (s_1), nilai tekanan uap keluar turbin dengan entalpi saturated liquid (h_f), tekanan uap keluar turbin dengan entalpi saturated vapor (h_g), tekanan uap keluar turbin dengan entropi saturated liquid (s_f), dan tekanan uap keluar turbin dengan entropi saturated vapor (s_g)[3].

$$\frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} = \frac{(y-y_1)}{(y_2-y_1)} \quad (8)$$

Untuk menghitung entalpi dan entropi dapat menggunakan aplikasi *software Chemical SteamTab Companion*. Aplikasi ini merupakan sebuah perangkat lunak yang menyediakan data dari daftar lengkap sifat termodinamika dan fisik uap dan air, seperti nilai entalpi dan entropi pada kondisi *saturated* maupun pada kondisi *superheated*.



Gambar 4 Tampilan Aplikasi Chemical SteamTab Companion

3. HASIL DAN ANALISA

3.1. Pengamatan dan Pengumpulan Data

Untuk menentukan nilai efisiensi dari generator harus mengetahui nilai daya masukan dan keluaran dari generator. Karena tidak ada data real time torsi dari generator sinkron unit 1, maka metode lain yang dapat digunakan untuk menentukan daya masukan adalah dengan mengasumsikan daya keluaran turbin sama dengan daya masukan generator karena turbin dan generator bekerja bersama. Untuk menentukan nilai efisiensi generator sinkron PLTP PT. Geo Dipa Energi Dieng Unit 1 maka dibutuhkan data seperti aliran massa uap, tekanan uap masuk dan tekanan uap keluar turbin serta beban yang dibangkitkan generator.

Pengambilan data ini dilakukan selama 1 minggu dari tanggal 23 Agustus 2021 sampai tanggal 29 Agustus 2021. Nilai yang digunakan diambil pada jam 08:00 sampai 06:00 WIB. Hasil dari pengamatan data disajikan pada table 3 untuk data pembebanan generator dan tabel 4 untuk data tekanan uap dan aliran massa uap. Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa besar daya yang dibangkitkan generator sinkron unit 1 berada antara 36.26 – 46.66 MW. Kemudian dari tabel 4 didapat tekanan uap masuk turbin rata-rata 8.30 bar. Karena pada PLTP menggunakan uap dari panas bumi dan tidak mengalami pemanasan ulang untuk menaikkan tekanan uap, sehingga untuk mendapatkan uap masuk yang ideal adalah dengan menambah massa aliran uap masuk.

Tabel 5 Entalpi dan Entropi Tekanan Uap Masuk Turbin Pada Hari Senin

HARI	JAM (WIB)	ENTALPI VAPOR	ENTALPI LIQUID	ENTROPI VAPOR	ENTROPI LIQUID
Senin	08.00	2770,81	732,171	6,64049	2,07094
	10.00	2770,76	731,954	6,64089	2,07046
	12.00	2770,66	731,521	6,64170	2,06949
	14.00	2770,76	731,954	6,64098	2,07046
	16.00	2770,76	731,954	6,64098	2,07046
	18.00	2770,71	731,737	6,64129	2,06997
	20.00	2770,76	731,954	6,64098	2,07046
	22.00	2770,76	731,954	6,64098	2,07046
	00.00	2770,76	731,954	6,64098	2,07046
	02.00	2770,76	731,954	6,64098	2,07046
	04.00	2770,76	731,954	6,64098	2,07046
	06.00	2770,76	731,954	6,64098	2,07046

Tabel 6 Entalpi dan Entropi Tekanan Uap Keluar Turbin Pada Hari Senin

HARI	JAM (WIB)	ENTALPI VAPOR	ENTALPI LIQUID	ENTROPI VAPOR	ENTROPI LIQUID
Senin	08.00	2576,63	174,825	8,22294	0,595622
	10.00	2577,45	176,766	8,21435	0,601778
	12.00	2579,45	181,445	8,19375	0,616589
	14.00	2579,06	180,528	8,19777	0,613691
	16.00	2579,84	182,354	8,18977	0,619458
	18.00	2578,27	178,666	8,20596	0,607799
	20.00	2575,35	171,836	8,23625	0,586121
	22.00	2578,27	178,666	8,20596	0,607799
	00.00	2574,47	169,788	8,24541	0,579596
	02.00	2575,35	171,836	8,23625	0,586121
	04.00	2575,35	171,836	8,23625	0,586121
	06.00	2576,63	174,825	8,22294	0,595622

3.2. Perhitungan Daya Keluaran Turbin

Untuk menghitung nilai daya keluaran turbin (*output*) pada PLTP PT. Geo Dipa Energi Unit 1 Dieng dapat dihitung menggunakan beberapa rumus berikut :

Contoh perhitungan pada Hari Senin jam 08.00

1. Mencari nilai kualitas uap (x)

$$x = \frac{S_1 - S_f}{S_g - S_f} \quad (\text{persamaan 2})$$

$$x = \frac{6,64049 - 0,595622}{8,22294 - 0,595622}$$

$$x = 0,792529 \text{ Kj/Kg}$$

Dimana :

x : nilai kualitas uap

S_1 : nilai entropy berdasarkan tekanan uap masuk turbin

S_f : nilai entropy sarurated liquid berdasarkan tekanan uap keluar turbin

S_g : nilai entropy saturated vapor berdasarkan tekanan uap keluar turbin

2. Mencari entalpi keluar turbin dalam keadaan isentropis (H_{2s})

$$H_{2s} = hf + x \cdot (hg - hf) \quad (\text{persamaan 3})$$

$$H_{2s} = 174,825 \text{ kj/kg} + 0,792529 \text{ kj/kg} (2576,63 \text{ kj/kg} - 174,825 \text{ kj/kg})$$

$$H_{2s} = 2078,324262 \text{ kj/kg}$$

Dimana :

H_{2s} : nilai enthalpy keluar turbin dalam kondisi isentropis

x : nilai kualitas uap

h_f : nilai enthalpy saturated liquid berdasarkan tekanan uap keluar turbin

h_g : nilai enthalpy saturated vapor berdasarkan tekanan uap keluar turbin

3. Mencari daya isentropik turbin uap

m = aliran uap utama – aliran uap menuju gland steam dan auxiliary steam

$m = 326000 \text{ kg/h} - 11720 \text{ kg/h}$

$m = 314280 \text{ kg/h}$

$P_s = m \cdot (h_1 - h_{2s})$

(persamaan 5)

$P_s = 314280 \text{ kg/h} (2770,81 \text{ kJ/kg} - 2078,324262 \text{ kJ/kg})$

$P_s = 217634418 \text{ kJ/h}$

$P_s = 60,45 \text{ MW}$

Dimana :

m : laju aliran uap

P_s : daya isentropik turbin uap

h_1 : nilai enthalpy berdasarkan uap masuk turbin

h_{2s} : nilai enthalpy keluar turbin dalam kondisi isentropik

Daya keluar turbin = daya masuk generator

$P_{in} = P_s \cdot \eta_{turbin}$

$P_s = 60,45 \times 95\%$

$P_s = 57,43 \text{ MW}$

Dimana :

η : efisiensi generator

P_s : daya isentropik turbin uap

P_{in} : daya masukan generator

4. Perhitungan Daya Keluaran Turbin

Besarnya nilai efisiensi generator dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$P_{in} = 57,43$

$P_{out} = 46,66$

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

(persamaan 7)

$\eta_{gen} = \frac{46,66}{57,43} \times 100\%$

$\eta_{gen} = 81,25 \%$

Dimana :

P_{in} : daya masukan generator

P_{out} : daya keluaran generator

η : efisiensi generator

3.3. Hasil Perhitungan Daya Keluaran Turbin

Tabel 7 Hasil Perhitungan Pada Hari Senin

HARI	JAM (WIB)	X	H ₂ s	m	Ps (Kj/h)	Ps (MW)	Pin
Senin	08.00	0,792528645	2078,324262	314280	217634418	60,45	57,43
	10.00	0,79330770	2081,247107	314280	216700112	60,20	57,19
	12.00	0,795167	2088,260271	312280	213099787	59,20	56,24
	14.00	0,794729	2086,711406	309280	211562549	58,77	55,83
	16.00	0,795413	2089,344715	313280	213473780	59,30	56,34
	18.00	0,794073	2084,125642	313280	215093148	59,75	56,76
	20.00	0,791471	2074,148807	309280	215447910	59,85	56,86
	22.00	0,794032	2084,027740	316280	217199679	60,34	57,32
	00.00	0,790703	2071,177859	311280	217765929	60,50	57,48
	02.00	0,791471	2074,148807	312280	217537743	60,43	57,41
	04.00	0,791471	2074,148807	312280	217537743	60,43	57,41
	06.00	0,792593	2078,478561	314280	217570211	60,45	57,43

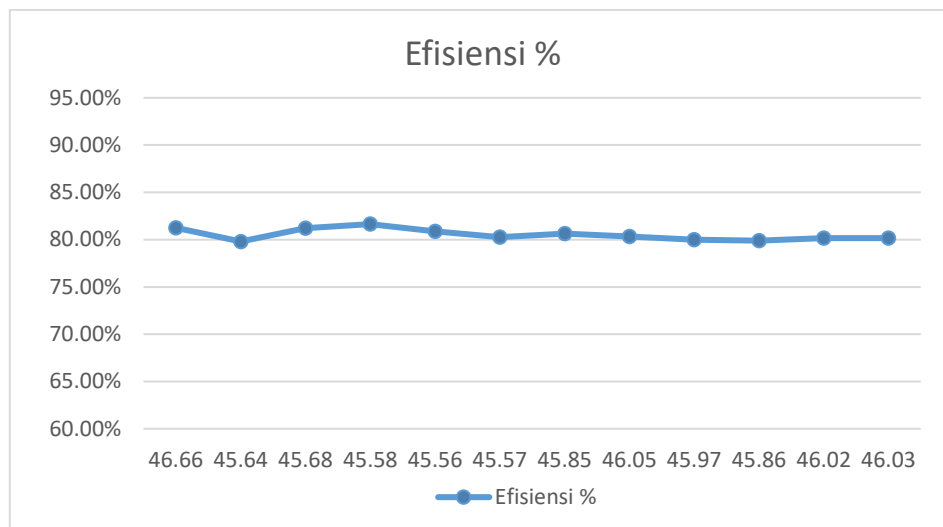
3.4. Pembahasan

Berdasarkan perhitungan diatas untuk mendapatkan nilai efisiensi dari generator dapat dilakukan dengan menentukan daya keluaran (*output*) dan juga daya masukan (*input*) dengan menggunakan rumus yang sudah dijelaskan.

Tabel 8 Hasil Perhitungan Nilai Efisiensi Generator Unit 1 Pada Hari Senin

HARI	JAM (WIB)	P out (MW)	P in (MW)	Efisiensi %
Senin	08.00	46,66	57,43	81,25%
	10.00	45,64	57,19	79,80%
	12.00	45,68	56,24	81,22%
	14.00	45,58	55,83	81,64%
	16.00	45,56	56,34	80,87%
	18.00	45,57	56,76	80,28%
	20.00	45,85	56,86	80,64%
	22.00	46,05	57,32	80,33%
	00.00	45,97	57,48	79,98%
	02.00	45,86	57,41	79,88%
	04.00	46,02	57,41	80,16%
	06.00	46,03	57,43	80,15%

Dari tabel 8 dapat dibuat grafik yang menunjukkan perubahan efisiensi generator unit 1 PLTP PT. Geo Dipa Energi Dieng Unit 1 dari tanggal 23 Agustus sampai 29 Agustus 2021 ditunjukkan pada grafik 1.



Grafik 1 Grafik Perhitungan Efisiensi Generator Pada Hari Senin

Berdasarkan pada grafik 1 terlihat efisiensi dari generator PLTP PT. Geo Dipa Energi Dieng Unit 1 tidak terlalu fluktuatif dan stabil diangka $\pm 78\%$ setiap harinya. Selama 1 Minggu pengamatan didapat nilai efisiensi terendah generator unit 1 yaitu pada hari Jumat jam 02:00 WIB yaitu sebesar 75,97%. Sedangkan nilai tertinggi dari efisiensi generator unit 1 terjadi pada hari Senin jam 08:00 WIB yaitu sebesar 81,25%. Stabilitasnya angka efisiensi generator menunjukkan setiap harinya konsumsi daya yang diperlukan generator dengan daya yang dihasilkan relative sama. Seperti terlihat pada tabel 8 beban yang ditanggung generator tidak terlalu fluktuatif dan selalu berada diangka ± 37 MW. Dengan begitu kinerja generator PLTP PT. Geo Dipa Energi Dieng Unit 1 beroperasi dalam kondisi yang aman sesuai kapasitasnya.

Efisiensi pada generator tidak mungkin mencapai 100%, hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi daya yang ada pada generator tersebut. Dalam buku *Electric Machinery Fundamentals*, S.J. Chapman dijelaskan bahwa rugi-rugi generator meliputi rugi-rugi panas pada kumparan (*winding*) dan rugi-rugi besi pada inti generator (*core*), serta rugi-rugi mekanik terhadap udara pada saat rotor berputar. Rugi-rugi panas yang dihasilkan inti dan kumparan generator dipengaruhi oleh sistem pendinginnya (*generator cooling system*) dan resistansi induktif pada kumparan. Hal ini menyebabkan efisiensi generator dapat mengalami perubahan pada saat beroperasi.

Berdasarkan pada tabel 8 didapatkan nilai rata-rata efisiensi generator unit 1 sebesar 78,33%, dengan daya keluaran rata-rata sebesar 39,14 MW dan daya masukan rata-rata sebesar 49,93 MW. Mengacu pada *manual book generator*, nilai efisiensi generator secara desain ketika dioperasikan untuk menanggung beban 60 MW sebesar $\pm 98,36\%$. Apabila menggunakan persamaan efisiensi generator untuk mencari daya input generator, maka akan didapat nilai daya input saat beban sebesar 60 MW dengan efisiensi sesuai *manual book* 98,40%.

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

$$P_{in} = \frac{60 \text{ MW}}{98,40\%} \times 100\%$$

$$P_{in} = 61 \text{ MW}$$

Dari perhitungan tersebut dapat dilakukan perbandingan antara daya input dan nilai efisiensi aktual dengan daya input dan nilai efisiensi berdasarkan spesifikasi pada *manual book* generator unit 1 saat daya output generator sebesar 60 MW. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9 Perbandingan Data Spesifikasi dan Data Aktual

	Daya Output (MW)	Daya Input (MW)	Efisiensi %
Spesifikasi	60	61	98,36
Aktual	39,14	49,93	78,38

Dari tabel 9 dapat dilihat pada hasil perhitungan bahwa, daya masukan generator sudah mengalami penurunan sebesar 11,07 MW. Sehingga nilai efisiensi generator turun sebesar 21,62% jika menggunakan perbandingan efisiensi 100%, penurunan daya dan berkurangnya nilai efisiensi ini dapat disebabkan oleh rugi-rugi daya pada generator terutama rugi-rugi tembaga. Sehingga energi yang seharusnya diubah menjadi listrik akan berubah menjadi panas. Akan tetapi selain akibat rugi daya pada generator, besar nilai efisiensi hasil perhitungan juga dipengaruhi oleh rugi daya mekanis pada kopel turbin saat transfer daya antara turbin dan generator.

4. KESIMPULAN

Nilai efisiensi dari generator PLTP Unit 1 PT. Geo Dipa Energi Dieng tidak terlalu fluktuatif dan stabil diangka $\pm 78\%$ setiap harinya. Selama 1 minggu pengamatan nilai efisiensi terendah generator unit 1 yaitu pada hari Jumat jam 02:00 WIB yaitu sebesar 75,97%. Sedangkan nilai tertinggi dari efisiensi generator terjadi pada hari Senin jam 08:00 WIB yaitu sebesar 81,25%. Stabilitasnya angka efisiensi generator menunjukkan setiap harinya konsumsi daya yang diperlukan generator dengan daya yang dihasilkan relative sama. Seperti terlihat pada tabel 4.30 sampai 4.36 beban yang ditanggung generator tidak terlalu fluktuatif dan selalu berada diangka ± 37 MW dan didapatkan nilai rata-rata efisiensi generator unit 1 sebesar 78,33%, dengan daya keluaran rata-rata sebesar 39,14 MW dan daya masukan sebesar 49,93 MW. Mengacu pada manual book generator, nilai efisiensi generator secara desain ketika dioperasikan untuk menanggung beban 60 MW sebesar $\pm 98,36\%$. Dengan begitu kinerja generator PLTP PT. Geo Dipa Energi Dieng Unit 1 beroperasi dalam kondisi yang aman sesuai kapasitasnya. Dari hasil penelitian didapat perubahan nilai efisiensi aktual dan nilai efisiensi spesifikasi, dapat dilihat dari perhitungan bahwa daya masukan generator sudah mengalami penurunan sebesar 11,07 MW. Sehingga nilai efisiensi generator turun sebesar 21,62% jika menggunakan perbandingan efisiensi 100%, penurunan daya dan berkurangnya nilai efisiensi ini dapat disebabkan oleh rugi-rugi daya pada generator terutama rugi-rugi daya pada generator, besar nilai efisiensi hasil perhitungan daya juga dipengaruhi oleh rugi daya mekanis pada kopel turbin saat transfer daya antara turbin dan generator. Semakin tinggi nilai beban yang dihasilkan generator maka semakin besar efisiensi yang dicapai dan semakin rendah nilai beban yang dihasilkan generator maka efisiensi generator turun. Pada generator unit 1 PLTP PT. Geo Dipa Dieng terdapat penurunan kinerja turbin aktual karena rugi-rugi daya (panas) yang muncul pada rotor dan generator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. A. Kusumma, "SISTEM PROTEKSI GENERATOR MENGGUNAKAN VACUUM CIRCUIT BREAKER PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI (PLTP)," vol. 126, no. 1, pp. 1–7, 2019.
- [2] Gehringer; Loksha; Victor, "Geothermal Handbook : Planning and Financing Power Generation," *World Bank Tech. Rep.*, vol. 002/12, pp. 1–164, 2002.
- [3] H. Radhitya, "LAPORAN KERJA PRAKTEK PT . GEO DIPA ENERGI UNIT DIENG PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL ' VETERAN ' YOGYAKARTA," no. 121110011, 2015.
- [4] SPLN K7.001, "Indikator Kinerja Pembangkit," no. 357, 2007.
- [5] M. La Ode, R. Abdul, G. Ikral, and S. Triska, "Analisis Performansi Turbin dan Generator di PLTP Lahendong Unit 1 Tomohon," *J. Sinergi Jur. Tek. Mesin*, vol. 17, no. 1, p. 25, 2019, doi: 10.31963/sinergi.v17i1.1589.
- [6] Annisa, Winarso, and D. Wakhyu, "Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron," vol. 1, no. 1, pp. 37–53, 2019.
- [7] M. Manguma, A. Sompotan, and J. Nusa, "PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI GENERATOR DI UNIT 2 PLTP LAHENDONG," vol. 2, pp. 109–113, 2021.
- [8] R. Catur Pamungkas, M. Yusvin Mustar, and R. Syahputra, "Analytical Studies of the Excitation System of Synchronous Generator in Steam Power Plant Unit 3 and 4 at PJB UP Gresik," *J. Electr. Technol. UMY*, vol. 1, no. 3, pp. 148–156, 2017, doi: 10.18196/jet.1320.
- [9] N. Moh Rifqi, "ANALISIS EFISIENSI GENERATOR SINKRON UNIT 2 11.8 KV 55 MW PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI PT. INDONESIA PT. INDONESIA POWER UPJP KAMOJANG," vol. 1, 2017.
- [10] 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.