



Analisis Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi Generator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Sarulla Operations Ltd.

Sarah Suhani Samosir¹⁾, Endang Mawarsih²⁾, Sigit Joko Purnomo³⁾

^{1), 2), 3)} Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman No. 39, Potrobangsang, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, 56116

e-mail: samosirsarah29@gmail.com¹⁾, endfamous@gmail.com²⁾, sigitjoko@untidar.ac.id³⁾

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh nilai laju aliran uap terhadap daya masuk generator dan pengaruh variasi beban generator terhadap efisiensi generator. PLTP merupakan pembangkit listrik yang sumber energinya berasal dari energi panas bumi yang dikonversi menjadi energi listrik. Sarulla Operations Ltd. merupakan salah satu PLTP di Indonesia dengan total kapasitas terpasang sebesar 330 MW, yang terletak di Provinsi Sumatera Utara. Generator merupakan salah satu komponen utama yang digunakan untuk mengubah energi mekanik dari turbin uap menjadi energi listrik. Masalah yang sering diperoleh pada generator adalah ketidakstabilan efisiensi generator. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian ini dilakukan di unit STG yang menerapkan teknologi single flash steam pada PLTP Sarulla unit NIL 2, dimana nilai beban generator secara spesifikasi adalah 57,45 MW. Data penelitian yang dianalisis diambil dari data pada Jumat, 01 Desember sampai dengan Selasa, 05 Desember 2023 tiap jam 07.00, 11.00, 15.00, 19.00 dan 23.00 WIB. Hasil penelitian yang pertama menunjukkan bahwa pada saat nilai laju aliran uap maksimum 185,84 kg/s, daya masuk generator sebesar 62,54 MW dan pada saat nilai laju aliran uap minimum 153,67 kg/s, daya masuk generator sebesar 54,35 MW. Hasil penelitian yang kedua menunjukkan bahwa pada saat nilai beban generator maksimum 59,22 MW, efisiensi generator sebesar 94,70% dan pada saat nilai beban generator minimum 46,31 MW, efisiensi generator sebesar 85,20%. Semakin tinggi nilai laju aliran uap maka semakin tinggi daya masuk generator dan semakin tinggi nilai beban generator maka semakin tinggi efisiensi generator yang diperoleh.

Kata Kunci: PLTP, generator, efisiensi generator

ABSTRACT

This research aims to analyze the influence of steam flow rate values on generator input power and the influence of generator load variations on generator efficiency. PLTP is a power plant whose energy source comes from geothermal energy which is converted into electrical energy. Sarulla Operations Ltd. is one of the GPPs in Indonesia with a total installed capacity of 330 MW, located in North Sumatra Province. The generator is one of the main components used to convert mechanical energy from the steam turbine into electrical energy. The problem that is often encountered with generators is instability of generator efficiency. The method used in this research is a descriptive method with a quantitative approach. This research was carried out at the STG unit which applies single flash steam technology at the Sarulla PLTP NIL 2 unit, where the generator load value according to specifications is 57.45 MW. The research data analyzed was taken from data from Friday, 01 December to Tuesday, 05 December 2023 at 07.00, 11.00, 15.00, 19.00 and 23.00 WIB. The results of the first research show that when the maximum steam flow rate value is 185.84 kg/s, the generator input power is 62.54 MW and when the minimum steam flow rate value is 153.67 kg/s, the generator input power is 54.35 MW. The results of the second research show that when the maximum generator load value is 59.22 MW, the generator efficiency is 94.70% and when the minimum generator load value is 46.31 MW, the generator efficiency is 85.20%. The higher the steam flow rate value, the higher the generator input power and the higher the generator load value, the higher the generator efficiency obtained.

Keywords: GPP, generator, generator efficiency

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan potensi energi panas bumi yang menyimpan 40% cadangan panas bumi dunia, karena berada di kawasan Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*). Berdasarkan data Badan Geologi-KESDM, total potensi energi panas bumi di Indonesia diperkirakan mencapai 23,7 GW dengan 357 titik di wilayah Indonesia yaitu Sumatera, Jawa, NTT, Kalimantan, Sulawesi, Maluku dan Papua [1].

Energi listrik menjadi kebutuhan pokok bagi setiap manusia di segala aspek kehidupan. Dalam memenuhi kebutuhan energi listrik tersebut dibutuhkan peran dari Energi Baru Terbarukan (EBT) atau *renewable energy*, yang merupakan energi yang tersedia di alam dan dapat diperbaharui [2].

Energi panas bumi (*geothermal energy*) adalah energi baru terbarukan yang berasal dari bawah kerak bumi berupa fluida, baik gas, cair, maupun campuran keduanya yang ramah lingkungan dan juga mempunyai prospek untuk dikembangkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) [3]. PLTP memanfaatkan sistem *hydrothermal*, yaitu memanfaatkan uap panas atau air panas dari dalam tanah dengan mengubahnya menjadi energi listrik.

Sarulla Operations Ltd. merupakan salah satu PLTP di Indonesia yang terletak di Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatera Utara dengan total kapasitas terpasang sebesar 330 MW. PLTP Sarulla memiliki 3 unit PLTP yaitu sebagai berikut:

1. Silangkitang (SIL) di Kec. Pahae Jae dengan 1 unit x 110 MW, yang mulai beroperasi pada Maret 2017.
2. Namora-I-Langit (NIL) di Kec. Pahae Julu dengan 2 unit x 110 MW. NIL-1 mulai beroperasi pada Oktober 2017, sedangkan NIL-2 mulai beroperasi pada Mei 2018.

PLTP Sarulla menerapkan teknologi *Geothermal Combined Cycle* yang merupakan teknologi perpaduan antara *single flash steam* dan *binary ORC*. Setiap unit PLTP Sarulla memiliki 1 perangkat *Steam Turbine Generator* (STG) yang menerapkan teknologi *single flash steam* dan 4 perangkat *Bottoming OEC* serta 2 perangkat *Brine OEC* yang menerapkan teknologi *Binary ORC* [4].

Generator merupakan salah satu komponen penting dalam pembangkit listrik yang digunakan untuk mengubah energi mekanik dari turbin uap menjadi energi listrik. Generator adalah salah satu jenis mesin listrik yang digunakan sebagai alat pembangkit energi listrik dengan cara mengonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik yang diperoleh berasal dari penggerak mula berupa mesin diesel, turbin, baling-baling dan lain-lain. Kestabilan generator dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu beban, arus eksitasi, faktor daya, jumlah putaran generator dan lain sebagainya.

Salah satu permasalahan pada generator adalah ketidakstabilan efisiensi generator. Efisiensi diartikan sebagai perbandingan antara daya keluar (*output*) dan daya masuk generator. Efisiensi dalam termodinamika sangat

penting untuk mengetahui seberapa baik konversi energi yang terjadi. Stabilitasnya nilai efisiensi generator menunjukkan setiap harinya konsumsi daya yang diperlukan generator dengan daya yang dihasilkan relatif sama [5]

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh nilai laju aliran uap terhadap daya masuk generator dan pengaruh variasi beban generator terhadap efisiensi generator pada salah satu generator di PLTP Sarulla.

2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 04 sampai dengan 12 Desember 2023 di unit STG, NIL 2 PLTP, Sarulla Operations Ltd., Kec. Pahae Julu, Kab. Tapanuli Utara, Sumatera Utara. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif.

Hasil yang telah diperoleh dari perhitungan perancangan berdasarkan rumus yang tertera, hasil perhitungan perancangan disajikan dalam bentuk tabel dan data hasil perhitungan yang telah ditabulasikan akan disajikan ke dalam bentuk grafik. Proses analisa dilakukan untuk mengilustrasikan hubungan daya masuk dan daya keluaran generator terhadap efisiensi generator, dan diperoleh informasi mengenai pengaruh variasi beban generator terhadap efisiensi generator.

Pada penelitian ini menggunakan data sekunder untuk dianalisis berupa data spesifikasi turbin uap dan *Steam Turbine Generator* (STG) turbin uap serta data operasi turbin uap dan generator yang diperoleh dari Central Control Room (CCR) PLTP Sarulla.

1. Data spesifikasi turbin uap dan STG

Turbin uap yang digunakan PLTP Sarulla memiliki spesifikasi yaitu keluaran terukur sebesar 58.350 kW, kecepatan terukur 3000 rpm, tekanan awal 10,3 bar abs, suhu awal 179,9 °C dan tekanan akhir 1,3 bar abs. Sedangkan generator yang digunakan PLTP Sarulla memiliki spesifikasi yaitu fase 3, volt 11.000, faktor daya 0,85 dan kenaikan suhu stator 82K.

2. Data operasi turbin uap dan generator

Data operasi pada Tabel 1. merupakan data operasi turbin uap dan data pembebanan generator. Data yang diperoleh tercatat dari tanggal 1 Desember sampai dengan 5 Desember 2023. Data operasi yang diperoleh terdiri dari laju aliran uap turbin (m), tekanan uap masuk turbin (p_{in}), tekanan uap keluar turbin (p_{out}) dan temperatur uap masuk turbin (T_{in}), daya keluaran generator (P_{out}).

Dari data tersebut dapat dilihat variasi nilai laju aliran uap, jika laju aliran uap rendah itu karena ada pengurangan bukaan katup uap ke turbin uap. Pengurangan bukaan katup uap menyebabkan peningkatan tekanan uap masuk, dimana posisi pressure gauge ada sebelum katup turbin. Pengurangan bukaan valve uap ke turbin itu sesuai permintaan PLN, dimana sebagai pengaturan beban MW oleh PLN.

Tabel 1. Data operasi turbin uap dan generator pada Jumat 1 Desember sampai dengan Selasa, 5 Desember 2023

Jumat, 1 Desember 2023					
Jam (WIB)	m (kg/s)	P_{in} (bar abs)	P_{out} (bar abs)	T_{in} (°C)	P_{out} (MW)
07.00	180,59	10,65	1,25	181,44	57,49
11.00	153,67	11,22	1,22	183,78	46,31
15.00	170,84	10,60	1,25	181,30	53,68
19.00	180,97	10,96	1,25	182,51	57,74
23.00	178,87	10,84	1,25	182,21	56,78
Sabtu, 2 Desember 2023					
Jam (WIB)	m (kg/s)	P_{in} (bar abs)	P_{out} (bar abs)	T_{in} (°C)	P_{out} (MW)
07.00	171,35	10,83	1,25	182,08	53,66
11.00	178,78	10,89	1,25	182,17	56,80
15.00	176,56	10,78	1,25	181,89	56,37
19.00	175,42	10,83	1,25	182,15	55,58
23.00	176,73	10,95	1,25	182,62	56,01
Minggu, 3 Desember 2023					
Jam (WIB)	m (kg/s)	P_{in} (bar abs)	P_{out} (bar abs)	T_{in} (°C)	P_{out} (MW)
07.00	179,45	10,71	1,25	181,62	56,97
11.00	162,15	10,74	1,25	181,93	49,42
15.00	161,40	10,76	1,25	181,83	49,26
19.00	179,55	10,92	1,25	182,38	57,32
23.00	158,82	11,20	1,25	183,76	48,18
Senin, 4 Desember 2023					
Jam (WIB)	m (kg/s)	P_{in} (bar abs)	P_{out} (bar abs)	T_{in} (°C)	P_{out} (MW)
07.00	157,16	11,30	1,25	184,14	47,65
11.00	185,84	10,76	1,30	181,57	59,22
15.00	181,15	10,82	1,28	182,08	57,58
19.00	180,51	10,79	1,12	181,84	59,85
23.00	180,93	10,76	1,14	181,75	59,62
Selasa, 5 Desember 2023					
Jam (WIB)	m (kg/s)	P_{in} (bar abs)	P_{out} (bar abs)	T_{in} (°C)	P_{out} (MW)
07.00	180,12	10,78	1,11	181,83	59,84
11.00	185,98	10,86	1,17	181,83	61,65
15.00	180,93	10,67	1,16	181,39	59,77
19.00	182,02	10,63	1,12	181,33	60,56
23.00	179,46	10,77	1,11	181,82	59,56

Tahapan perhitungan perancangan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai entalpi spesifik (h_1) dan entropi spesifik (s_1) berdasarkan tekanan uap masuk dan temperatur uap masuk turbin menggunakan rumus

interpolasi, dimana nilai dua atau lebih yang sudah diketahui berasal dari data *Superheated Steam Table*

$$p_1(x) = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) + y_0 \dots \dots \dots (1)$$

Dimana $p_1(x)$ adalah parameter yang dicari, x_0 tekanan atau temperatur sebelum nilai x , x_1 tekanan atau temperatur setelah nilai x , y_0 batas dari nilai sebelum nilai x dan y_1 adalah batas dari nilai sebelum nilai x

2. Menentukan nilai entalpi *saturated liquid* (h_f), entalpi *saturated vapor* (h_g), entropi *saturated liquid* (s_f) dan entropi *saturated vapor* (s_g) berdasarkan tekanan uap keluar turbin menggunakan rumus interpolasi seperti diatas, dimana nilai dua atau lebih yang sudah diketahui berasal dari data *Saturated Steam Table: Pressure*.
3. Menentukan nilai kualitas uap (x)

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana x adalah kualitas uap, s adalah entropi spesifik ((kJ/kg.K), s_f adalah entropi *saturated liquid* (kJ/kg.K) dan s_g adalah entropi *saturated vapor* (kJ/kg.K)

4. Menentukan nilai entalpi isentropik (h_{2s})

$$h_{2s} = h_f + x (h_g - h_f) \dots \dots \dots (3)$$
 Dimana h_{2s} adalah entalpi isentropik (kJ/kg), h_f adalah entalpi *saturated liquid* (kJ/kg), h_g adalah entalpi *saturated vapor* (kJ/kg) dan x adalah kualitas uap.
5. Menentukan nilai daya isentropik turbin uap (Y_t)

$$Y_t = m(h_1 - h_{2s}) \dots \dots \dots (4)$$

Dimana Y_t adalah daya isentropik turbin uap (MW), m laju aliran uap (kg/s), h_1 entalpi spesifik (kJ/kg) dan h_{2s} entalpi isentropik (kJ/kg).

6. Menentukan nilai daya masukan generator (P_{in})

$$P_{in} = Y_t \cdot 5_g \dots \dots \dots (5)$$
 Dimana P_{in} adalah daya masuk generator (MW), Y_t daya isentropik turbin uap (MW), 5_g efisiensi turbin uap (%).
7. Menentukan nilai efisiensi generator (5_g)

$$\eta_g = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

Dimana 5_g adalah efisiensi generator (%), P_{out} daya keluar generator (MW) dan P_{in} daya masuk generator (MW).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Untuk menentukan nilai efisiensi generator harus diketahui terlebih dahulu nilai daya masukan dan keluaran generator. Nilai daya keluaran generator sudah dicantumkan pada Tabel 3.3, sedangkan nilai daya masukan generator belum diperoleh hasilnya. Nilai daya masukan generator dapat diperoleh hasilnya dengan menentukan nilai-nilai dari tiap parameter hingga memperoleh hasil daya masukan

generator sesuai dengan tahapan perhitungan perancangan pada BAB III.

Parameter-parameter tersebut adalah nilai entalpi spesifik (h_1), entropi spesifik (s_1), entalpi *saturated liquid* (h_f), entalpi *saturated vapor* (h_g), entropi *saturated liquid* (s_f), entropi *saturated vapor* (s_g), kualitas uap (x), entalpi isentropik (h_{2s}), daya turbin uap (Y_t), hingga akhirnya diperoleh nilai daya keluaran turbin atau daya masukan generator (P_{in}).

Hasil dari perhitungan perancangan efisiensi generator dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

1. Hasil perhitungan entalpi dan entropi

Nilai dari perhitungan entalpi dan entropi merupakan nilai yang diperoleh berdasarkan rumus interpolasi sesuai dengan nilai data operasi yang dibutuhkan yaitu tekanan uap masuk dan tekanan uap keluar turbin serta temperatur uap masuk.

Tabel 2. Hasil perhitungan entalpi dan entropi pada Sabtu, 02 Desember 2023

h_1	s_1	h_f	h_g	s_f	s_g
2777,0	6,5837	441,17	2684,1	1,3649	7,2951
2776,8	6,5809	441,34	2684,2	1,3654	7,2947
2776,9	6,5856	441,19	2684,1	1,3650	7,2951
2777,1	6,5839	440,86	2684,0	1,3641	7,2960
2777,5	6,5796	441,21	2684,1	1,3650	7,2950

2. Hasil perhitungan daya keluar turbin atau daya masukan generator (P_{in} generator)

Untuk menentukan daya masukan generator adalah dengan mengasumsikan daya keluaran turbin sama dengan daya masukan generator, karena poros turbin dan generator saling terhubung untuk menghasilkan energi listrik.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Daya keluar turbin atau daya masukan generator (P_{in} generator) pada Sabtu, 02 Desember 2023

Jam	x	h_{2s}	Y_t	P_{out} turbin
07.00	0,8800	2415	62,02	58,92
11.00	0,8796	2414,2	64,83	61,59
15.00	0,8804	2415,8	63,76	60,57
19.00	0,8800	2414,7	63,58	60,40
23.00	0,8794	2413,5	64,32	61,11

3. Hasil perhitungan efisiensi generator

Efisiensi diartikan sebagai perbandingan antara daya keluaran (*output*) terhadap daya masukan (*input*) dalam suatu proses.

Contoh perhitungan efisiensi generator pada hari Sabtu jam 07.00 WIB.

Diketahui :

$$P_{in} = 58,92 \text{ MW}$$

$$P_{out} = 53,66 \text{ MW}$$

Ditanya : efisiensi generator (η_g)

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

$$\eta_g = \frac{53,66}{58,92} \times 100\%$$

$$\eta_g = 0,9107264 \times 100\%$$

$$\eta_g = 91,07\%$$

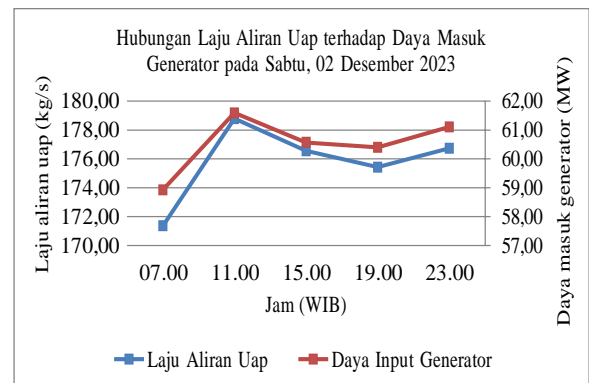
Tabel 4. Hasil perhitungan efisiensi generator pada Sabtu, 02 Desember 2023

Jam	P_{in} generator	P_{out} generator	η_g
07.00	58,92	53,66	91,07
11.00	61,59	56,80	92,23
15.00	60,57	56,37	93,07
19.00	60,40	55,58	92,03
23.00	61,11	56,01	91,65

3.2 Pembahasan

Penelitian ini membahas mengenai hubungan antara laju aliran uap terhadap daya masuk generator dan hubungan beban generator terhadap efisiensi generator.

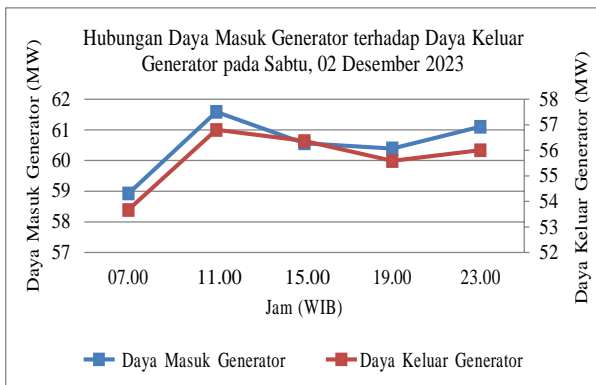
1. Hubungan laju aliran uap terhadap daya masuk generator



Gambar 1. Hubungan laju aliran uap terhadap daya masuk generator pada Sabtu, 02 Desember 2023

Laju aliran uap (m) diartikan sebagai besarnya jumlah uap yang mengalir ke dalam turbin dengan kecepatan tertentu per satuan waktu. Gambar 1 menunjukkan bahwa jumlah produksi uap tiap waktunya tidak stabil dan menimbulkan variasi nilai laju aliran uap. Grafik di atas menunjukkan nilai laju aliran uap tertinggi yaitu pada jam 11.00 WIB dengan nilai sebesar 178,78 kg/s dan diperoleh nilai daya masuk generator sebesar 61,59 MW. Sedangkan grafik laju aliran uap terendah yaitu pada jam 07.00 WIB dengan nilai sebesar 171,35 kg/s dan diperoleh nilai daya masuk generator sebesar 58,92 MW.

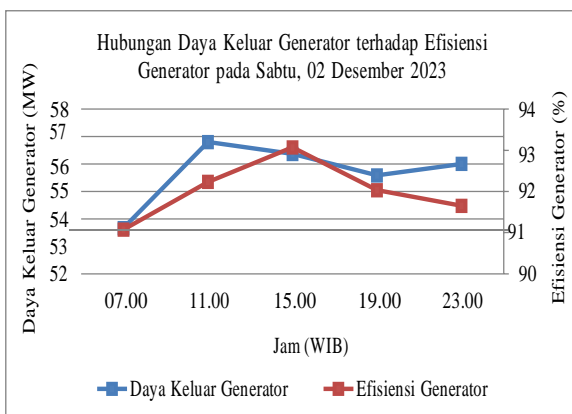
2. Hubungan daya masuk generator terhadap daya keluar generator



Gambar 2. Hubungan daya masuk generator terhadap daya keluar generator pada Sabtu, 02 Desember 2023

Grafik pada Gambar 2 menunjukkan bahwa ada sebagian daya yang hilang pada saat proses konversi energi di dalam generator. Hasil diperoleh bahwa nilai daya masuk generator tertinggi berada pada jam 11.00 WIB dengan nilai sebesar 61,59 MW dan diperoleh nilai daya keluar generator sebesar 56,80 MW. Sedangkan, nilai daya masuk generator terendah berada pada jam 07.00 WIB dengan nilai sebesar 58,92 MW dan diperoleh daya keluar generator sebesar 53,66 MW.

3. Hubungan daya keluar generator terhadap efisiensi generator



Gambar 2. Hubungan daya keluar generator terhadap efisiensi generator pada Sabtu, 02 Desember 2023

Daya keluar generator atau beban generator merupakan daya yang dihasilkan oleh generator. Efisiensi generator merupakan perbandingan antara daya keluar generator terhadap daya masuk generator. Gambar 2 menunjukkan naik turunnya efisiensi generator yang disebabkan oleh variasi beban generator. Nilai daya keluar generator tertinggi berada pada jam 11.00 WIB dengan nilai sebesar 56,80 MW dan diperoleh nilai efisiensi generator sebesar 92,23%. Sedangkan, nilai daya keluar generator terendah berada pada jam 07.00 WIB dengan nilai sebesar

53,66 MW dan diperoleh nilai efisiensi generator sebesar 91,07%.

Dalam mengkonversikan energi mekanis menjadi energi listrik, generator mengalami kehilangan daya, oleh karena itu efisiensi generator tidak bisa mencapai 100%. Hal ini dikarenakan adanya rugi daya yaitu besarnya energi listrik yang hilang secara percuma akibat faktor tahanan dari kumparan medan dan kumparan jangkar generator yang menghambat arus mengalir pada kumparan tersebut pada saat generator dibebani oleh daya masuk generator. Rugi-rugi daya tersebut berupa rugi-rugi listrik atau tembaga, rugi mekanik karena gesekan dan angin dan rugi-rugi beban hilang.

Dibandingkan dari penelitian pendahulu, pada generator PLTP Lahendong unit 3 dilakukan penelitian selama satu bulan pada bulan Mei 2021, dimana diperoleh nilai beban generator paling rendah yaitu sebesar 12 MW dengan efisiensi generator 56% dan nilai beban generator paling tinggi yaitu sebesar 19 MW dengan efisiensi generator 88% [6]. Sedangkan pada generator unit 2 PLTP Lahendong dilakukan penelitian selama 14 hari, dimana diperoleh nilai beban paling rendah yaitu sebesar 12 MW dengan efisiensi generator sebesar 72 % dan nilai beban paling tinggi adalah sebesar 19 MW dengan efisiensi generator sebesar 93% [7].

4. Kesimpulan

Semakin tinggi nilai laju aliran uap maka semakin tinggi daya masuk generator dan semakin tinggi nilai beban generator maka semakin tinggi efisiensi generator yang diperoleh. Hasil penelitian yang pertama menunjukkan bahwa pada saat nilai laju aliran uap maksimum 185,84 kg/s, daya masuk generator sebesar 62,54 MW dan pada saat nilai laju aliran uap minimum 153,67 kg/s, daya masuk generator sebesar 54,35 MW. Hasil penelitian yang kedua menunjukkan bahwa pada saat nilai beban generator maksimum 59,22 MW, efisiensi generator sebesar 94,70% dan pada saat nilai beban generator minimum 46,31 MW, efisiensi generator sebesar 85,20%.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih banyak kepada PLTP Sarulla Operations Ltd sudah mengizinkan dan membimbing dalam penelitian skripsi dan kepada Ibu Dr. Dra. Endang Mawarsih, M.Sc, Bapak Ir. Sigit Joko Purnomo, S.T., M.T dan Bapak Dr. Sigit Mujiarto, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing dan penguji penelitian skripsi.

Daftar Pustaka

- [1] ebtke.esdm.go.id. "Potensi Pengembangan Energi Panas Bumi di Indonesia". Diakses 19 Oktober 2023, 13.14. <https://ebtke.esdm.go.id/lintas/id/investasi-ebtke/sektor-panas-bumi/potensi#>
- [2] Adistia, N. A., Nurdiansyah, R. A., Fariko, J., Vincent, V., & Simatupang, J.W. (2020). Potensi

energi panas bumi, angin, dan biomassa menjadi energi listrik di Indonesia. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 22(2), 105-116.

- [3] Maulana, Y., Haryanto, A. D., & Ismawan, D. K. (2019). Penentuan Tipe Fluida serta Tingkat Permeabilitas Sistem Panas Bumi Daerah Tinggi, Toli-Toli, Sulawesi Tengah. *Geoscience Journal*, 3(6), 459-464.
- [4] Harefa, J. C., & Sinaga, N. (2021). Tinjauan Singkat Sistem PLTP Siklus Gabungan Sarulla Menggunakan Ormat Energy Converter. *TEKNIKA*, 15(2), 179-185.
- [5] Wijaya, A. K., Nugroho, D., & Nugroho, A. A. (2022). Analisa Efisiensi Kinerja Generator G-101 Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. *TRANSISTOR Elektro dan Informatika*, 4(1), 43-48.
- [6] Manangka, R., Mangindaan, G. M. C., & Tumaliang, H. (2022). Analisa Pengaruh Perubahan Beban terhadap Efisiensi Generator Sinkron 3 Fasa di PLTP Lahendong Unit 3.
- [7] Manguma, M., Sompotan, A., & Nusa, J. (2021). Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Generator di Unit 2 PLTP Lahendong. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya*, 2(2), 109-113.