

Analisis Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 2 PLTP PT. Indonesia Power UPJP Kamojang

Muharrir¹; Ibnu Hajar²

^{1,2}Sekolah Tinggi Teknik PLN

¹muharrir97@gmail.com, ²ibnu.hajar@sttpln.ac.id

ABSTRACT

Geothermal as a newest natural resource for Indonesian. PLTP PT. Indonesia Power as one of subsidiaries of PLN that is focused on generating using geothermal resource. One of the important components in the system of PLTP is a generator. PLTP Kamojang had been operating for about ±30 years, where there are still some problems that will reduce the efficiency of generator. The generator at PLTP Kamojang unit 2 must be operated more than 90% so that it will be able to supply electric power for 150kV. If the generator operated with the efficiency under 80%, so the supply of energy will not be maximum, because there are so much energy of electric lost caused by the losses in the generator. That is why needs to be analyzed toward the efficiency of the generator, whether the generator still works optimum or not. The result of analyses from the month of February 2019 as long as 1 month, found that the efficiency of generator unit 2 is about 92,89%. If comparing by the efficiency of generator as design as much as 98,4%. The efficiency value of the generator unit 2 Kamojang is decreased for about 5,51%. This condition showed that the generator still reliable one in supplying electric power.

Keywords: PLTP, Generator, efficiency

ABSTRAK

Panas bumi merupakan salah satu sumber daya terbarukan yang paling potensial untuk Indonesia. PLTP PT. Indonesia Power merupakan salah satu anak perusahaan PT. PLN yang bergerak di bidang pembangkitan dengan memanfaatkan sumber panas bumi. Salah satu komponen penting dalam sistem PLTP adalah generator. Kondisi PLTP Kamojang saat ini sudah beroperasi ±30 tahun, dimana terdapat banyak permasalahan yang dapat menurunkan efisiensi generator. Generator pada PLTP unit 2 Kamojang harus beroperasi diatas 90% agar dapat mensupply energi listrik ke jaringan 150kV. Jika generator beroperasi dengan efisiensi dibawah 80% maka energi yang dialirkan tidak maksimal karena banyak energi listrik yang hilang akibat rugi-rugi pada generator. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa terhadap efisiensi generator apakah generator masih dalam keadaan optimal atau kurang optimal. Hasil dari analisa dengan mengambil data pada tanggal bulan Februari 2019 selama 1 bulan didapatkan efisiensi rata-rata generator unit 2 sebesar 92,89%. Apabila dibandingkan dengan efisiensi generator secara desain sebesar 98,4%, nilai efisiensi generator unit 2 Kamojang mengalami penurunan sebesar 5,51%. Hal ini menunjukkan bahwa generator masih memiliki keandalan kinerja yang baik sebagai penghasil daya listrik.

Kata kunci: PLTP, Generator, Efisiensi

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara berkembang yang menjadikan teknologi sebagai sebuah peluang untuk mendorong pertumbuhan ekonomi. Panas bumi merupakan salah satu sumber daya terbarukan yang paling potensial untuk Indonesia. PT. Indonesia Power UPJP Kamojang merupakan salah satu anak perusahaan PT PLN di Indonesia yang bergerak di bidang pembangkitan energi listrik dengan memanfaatkan sumber panas bumi yang memasok daya sebesar 375 MW dimana dibagi menjadi tiga unit PLTP diantaranya, unit PLTP Kamojang (140 MW), unit PLTP Darajat (55 MW), dan unit PLTP Gunung Salak (180 MW). Pembangkit unit PLTP Kamojang memiliki tiga buah unit pembangkit listrik dengan daya diantaranya sebesar, unit 1 (30 MW), unit 2 (55 MW), dan unit 3 (55 MW). Salah satu komponen penting dalam sistem PLTP adalah generator. Generator merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Pada generator banyak terdapat masalah-masalah yang timbul termasuk permasalahan efisiensi generator. Gangguan efisiensi generator dapat berakibat fatal pada generator sehingga dapat menyebabkan generator tidak bekerja secara optimal dan sistem kelistrikan konsumen akan padam. Efisiensi pada generator akan mempengaruhi kinerja dari sistem PLTP. Semakin besar efisiensi generatornya maka keandalan sistem juga semakin baik.

Pada jurnal yang berjudul analisa perhitungan efisiensi turbin generator qfsn-300-2-20B unit 10 dan 20 di PT. PJB UBJOM PLTU Rembang, membahas tentang perhitungan efisiensi generator dengan data nilai rata-rata daya yang dibangkitkan generator PLTU Rembang unit 10 dan 20 dalam 24 jam selama 10 hari. Pada penelitian tersebut didapat hasil bahwa nilai dari efisiensi generator unit 10 dan 20 PLTU rembang mengalami penurunan sebesar $\pm 5\%$. (Cahyadi, 2015).

Penelitian mengenai pengaruh beban terhadap efisiensi generator pernah dilakukan pada tahun 2018 yang berjudul analisis pengaruh beban terhadap efisiensi generator pada PLTU PT. Lestari Banten Energi. Dalam skripsi tersebut dilakukan penelitian dari tanggal 1 januari 2018 sampai 5 januari 2018 dan didapatkan hasil rata-rata efisiensi perhari pada generator tersebut berkisar 98%-99%. (Hidayat, 2018).

Pada penelitian mengenai efisiensi pada generator terhadap beban, penulis melakukan penelitian dengan objek studi pada generator PLTP PT. Indonesia Power Kamojang.

Tujuan dilakukan penelitian ini untuk menganalisis perbandingan efisiensi aktual generator unit 2 dengan nilai efisiensi desain.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

2.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif, karena untuk menganalisis efisiensi generator terhadap pengaruh beban yang berubah dibutuhkannya data yang relevan seperti data pembebanan pada generator, data laju aliran massa *steam* turbin, data spesifikasi generator dan data spesifikasi turbin.

2.2. Data Generator dan Turbin

Tabel 1. Spesifikasi Generator

Manufaktur	Mitsubishi Electric Corporation
Tipe	AAA145B0101
Kapasitas	55 MW/68750 kVA
Tegangan	11800 V
Arus	3364 A
Phase	3
Power Factor	0.85
Frekuensi	50 Hz
Rugi Daya Disipasi Pendingin	1050 KW
Resistansi Stator	0.00305 ohm
Resistansi Rotor	0.174 ohm

Tabel 2. Spesifikasi Turbin

Manufaktur	Mitsubishi Heavy Industry. Ltd
Tipe	Impulse and reaction double flow
Kapasitas	55 MW
Rotasi	3000rpm
Arah Putaran	Searah jarum jam
Tekanan uap masuk	6.5 bar
Tekanan uap keluar	0.1 bar

2.3. Data Pembebanan Generator

Data penelitian ini merupakan data pembebanan generator unit 2 di PLTP PT. Indonesia Power UPJP Kamojang. Data yang diambil teracatat dari tanggal 1 Februari 2019 sampai 28 Februari 2019.

Tabel 3. Data Pembebanan Generator bulan Februari 2019

Hari ke-	Beban (MW)	Faktor Daya ($\cos \phi$)	Beban (MVA)	Arus (A)	Arus Eksitasi (A)	Frekuensi (Hz)	Tegangan (kV)
1	55	0.98	56.12	2745	440	50	11.8
2	55.5	0.98	56.63	2753	439	50	11.8
3	55	0.98	56.12	2734	430	50	11.8
4	54.9	0.98	56.02	2738	440	50	11.8
5	55	0.97	56.70	2743	443	50	11.8
6	55	0.98	56.12	2746	441	50	11.8
7	55.1	0.97	56.80	2760	453	50	11.8
8	55.3	0.98	56.43	2743	432	50	11.8
9	54.9	0.97	56.60	2751	440	50	11.8
10	55	0.98	56.12	2717	417	50	11.8

11	55.2	0.98	56.33	2731	417	50	11.8
12	55.1	0.98	56.22	2727	426	50	11.8
13	55	0.98	56.12	2732	432	50	11.8
14	54.8	0.98	55.92	2722	425	50	11.8
15	54.7	0.97	56.39	2727	433	50	11.8
16	54.6	0.97	56.29	2741	451	50	11.8
17	54.8	0.98	55.92	2703	421	50	11.8
18	54.6	0.98	55.71	2695	415	50	11.8
19	54.3	0.97	55.98	2734	444	50	11.8
20	54.7	0.98	55.82	2717	431	50	11.8
21	54.6	0.98	55.71	2708	429	50	11.8
22	54.4	0.98	55.51	2706	431	50	11.8
23	54.4	0.98	55.51	2714	434	50	11.8
24	54.5	0.98	55.61	2713	435	50	11.8
25	54.2	0.98	55.31	2604	431	50	11.8
26	54.4	0.97	56.08	2739	448	50	11.8
27	54.4	0.97	56.08	2717	428	50	11.8
28	54.6	0.97	56.29	2729	443	50	11.8

2.4. Data Tekanan dan Laju Uap pada Turbin

Berikut ini merupakan data laju uap, tekanan uap masuk dan tekanan uap keluar di PLTP PT. Indonesia Power UPJP Kamojang unit 2 pada tanggal 1 Ferbruari 2019 sampai 28 Februari 2019:

Tabel 4. Data Sistem Uap dan Turbin Bulan Februari 2019

Hari Ke-	Laju Uap (Kg/s)	Tekanan Uap Masuk (kPa)	Tekanan Uap Keluar (kPa)
1	119.00	528.5	11.6699
2	119.22	525.2	11.2561
3	118.39	522.7	11.6233
4	118.25	525.4	12.1028
5	118.56	526.6	11.8758
6	119.36	529.8	11.8758
7	119.47	523.5	11.4614
8	118.92	526.8	11.2787
9	118.06	529.5	11.4614
10	118.53	533.4	11.3355
11	119.00	536.4	11.1433
12	118.90	536.9	11.0483
13	118.06	526.5	11.1321
14	118.19	539.8	11.2617

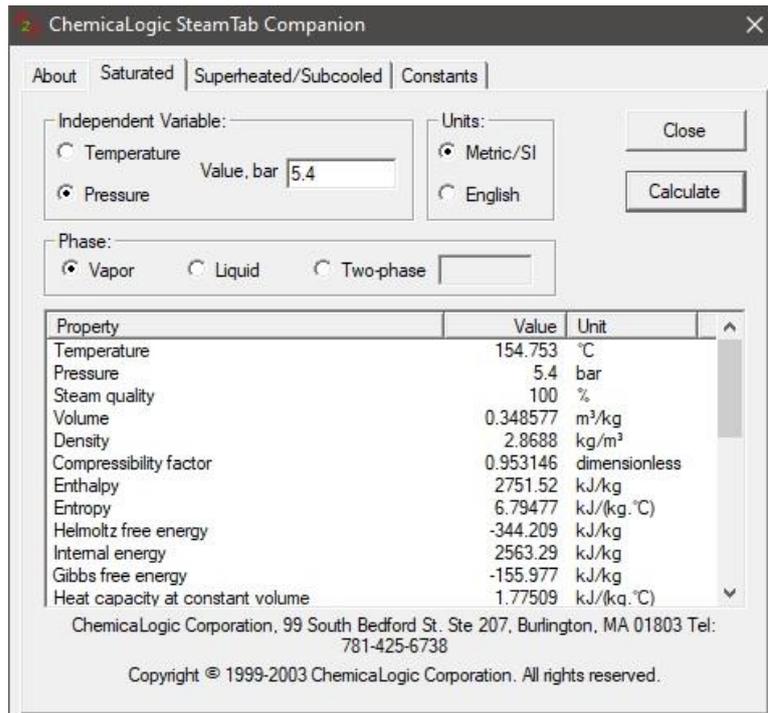
15	118.58	538.7	11.8049
16	120.36	538.9	11.6933
17	121.22	539.8	11.8877
18	121.03	539.9	11.3869
19	121.17	537.7	12.0848
20	120.89	539.6	12.3458
21	120.50	542.4	11.8344
22	121.50	544.3	11.9352
23	121.33	544.8	12.2908
24	120.14	543.2	11.6699
25	120.81	542.2	12.0908
26	120.86	542.9	11.7813
27	121.69	544.1	11.6641
28	121.11	541.3	12.0667

2.5. Perhitungan Entalpi dan Entropi

Untuk mendapatkan nilai entalpi dan entropi pada penelitian ini dapat menggunakan *steam table* yang bersifat *saturated* (lampiran tertera). Pada perhitungan ini dapat menggunakan cara interpolasi dimana hal ini dimaksud untuk menentukan nilai yang berada diantara dua nilai yang diketahui. Interpolasi ini didasarkan pada teori perbandingan. 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).

$$\frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} = \frac{(y-y_1)}{(y_2-y_1)} \quad (1)$$

Adapun untuk mempermudah perhitungan entalpi dan entropi dapat menggunakan aplikasi. Aplikasi yang digunakan untuk mempermudah perhitungan yaitu menggunakan software *SteamTab*. Aplikasi ini merupakan perangkat lunak yang menyediakan data yang akurat seperti nilai entalpi, dan entropi pada kondisi *saturated* maupun pada kondisi *superheated*. Berikut ini merupakan hasil perhitungan entalpi dan entropi berdasarkan tekanan uap masuk turbin dan tekanan uap keluar turbin menggunakan aplikasi *SteamTab*.



Gambar 1. Tampilan Aplikasi *steamtab* pada tekanan 5.4 bar

2.6. Perhitungan Daya Keluaran Turbin

Untuk menghitung nilai daya keluaran turbin (output) pada PLTP PT. Indonesia Power unit Kamojang dapat dihitung menggunakan beberapa rumus berikut:

1. Mencari nilai kualitas uap (x)

Untuk mencari nilai dari kualitas uap dapat menggunakan persamaan:

$$x = \frac{s_1 - s_f}{s_g - s_f} \tag{2}$$

Dimana:

S_1 = nilai entropi berdasarkan tekanan uap masuk turbin

S_f = nilai entropi *saturated liquid* berdasarkan tekanan uap keluar turbin

S_g = nilai entropi *saturated vapor* berdasarkan tekanan uap keluar turbin

2. Mencari nilai entalpi keluar turbin dalam kondisi isentropis (h_{2s})

Untuk mencari nilai entalpi keluaran turbin dalam kondisi isentropis dapat menggunakan persamaan berikut:

$$h_{2s} = h_f + x \cdot (h_g - h_f) \tag{3}$$

Dimana:

h_f = nilai entalpi *saturated liquid* berdasarkan tekanan uap keluar turbin

x = nilai kualitas uap

h_g = nilai entalpi *saturated vapor* berdasarkan tekanan uap keluar turbin

3. Mencari nilai daya isentropis (W isentropis)

Untuk menghitung nilai daya isentropis dapat menggunakan persamaan:

$$W_{isentropis} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_{2s}) \tag{4}$$

Dimana:

\dot{m} = laju aliran uap

h_1 = entalpi berdasarkan uap masuk turbin

h_{2s} = entalpi keluar turbin dalam kondisi isentropis

4. Mencari nilai daya aktual (W aktual)

Adapun cara untuk menghitung nilai daya aktual adalah dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$W_{aktual} = \eta_{turbin} \times W_{isentropis} \quad (5)$$

Dimana:

η_{turbin} = efisiensi turbin

$W_{isentropis}$ = daya isentropis

2.7 Perhitungan Daya Keluaran Turbin

Besarnya nilai efisiensi generator dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana:

η = efisiensi generator

P_{out} = daya keluaran generator (MW)

P_{in} = daya masukan generator (MW)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

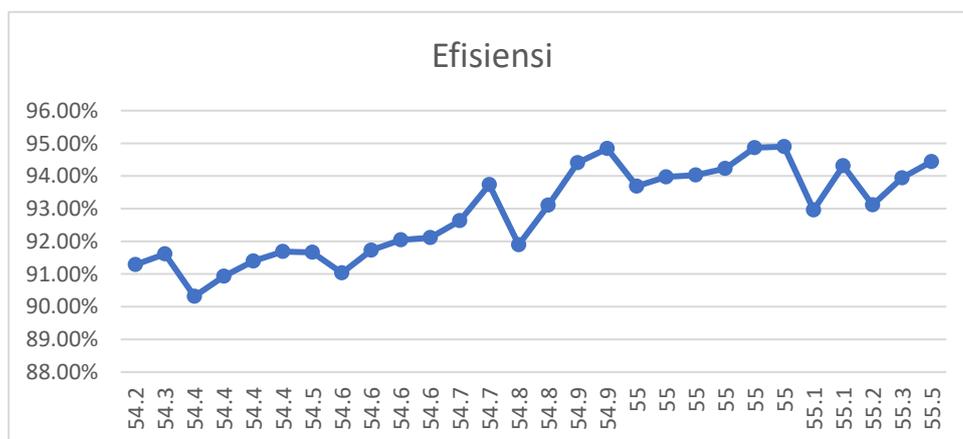
Untuk mendapatkan nilai dari efisiensi generator dapat dilakukan dengan menentukan daya keluaran (output) dan juga daya masukan (input) dengan menggunakan rumus yang sudah dijelaskan.

Tabel 5. Data Perhitungan Efisiensi Generator menggunakan aplikasi

Jam	Pout (MW)	Pin (MW)	Efisiensi Generator
1	55.0	58.528	93.972%
2	55.5	58.767	94.441%
3	55	57.956	94.900%
4	54.9	57.888	94.838%
5	55	57.978	94.864%
6	55	58.369	94.228%
7	55.1	58.422	94.314%
8	55.3	58.866	93.942%
9	54.9	58.153	94.406%
10	55	58.706	93.687%
11	55.2	59.282	93.114%
12	55.1	59.273	92.960%
13	55	58.494	94.027%
14	54.8	58.859	93.104%

15	54.7	58.356	93.735%
16	54.6	59.276	92.111%
17	54.8	59.633	91.895%
18	54.6	69.979	91.032%
19	54.3	59.271	91.613%
20	54.7	59.052	92.630%
21	54.6	59.32	92.043%
22	54.4	59.826	90.930%
23	54.4	59.332	91.687%
24	54.5	59.457	91.663%
25	54.2	59.374	91.286%
26	54.4	59.521	91.396%
27	54.4	60.233	90.316%
28	54.6	59.523	91.729%
Rata – rata	54.8	59.3	92.888%

Pada tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi terendah terjadi tanggal 27 Februari 2019 dengan efisiensi sebesar 90.32%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada tanggal 3 Februari 2019 dengan efisiensi sebesar 94.90%.



Gambar 2. Grafik efisiensi generator dengan perhitungan aplikasi

Dalam mengkonversikan energi mekanis menjadi energi listrik, generator mengalami kehilangan daya (*losses*), oleh karena itu efisiensi generator tidak bisa mencapai 100%. Pada buku Electric Machinery Fundamentals, SJ. Chapman dijelaskan bahwa terdapatnya rugi-rugi generator, diantaranya rugi-rugi panas pada kumparan (*winding*), rugi-rugi pada inti generator (*core*), serta rugi-rugi mekanik akibat gesekan terhadap udara pada saat berputar. Rugi-rugi panas yang dihasilkan dari inti dan kumparan generator dipengaruhi oleh sistem pendingin generator. Oleh karena itu terdapatnya perubahan efisiensi generator saat beroperasi.

Berdasarkan tabel 5 didapatkan nilai rata-rata efisiensi generator pada unit 2 sebesar 92.88%, dengan beban rata-rata 54.8 MW dan daya masukan rata-rata 59.3 MW. Pada *manual book* generator unit 2 nilai efisiensi generator secara desain dengan beban 55 MW sebesar 98.4%. Apabila

menggunakan persamaan efisiensi generator untuk mencari nilai daya input, maka didapat nilai input saat beban 55 MW dengan efisiensi sesuai *manual book* 98.4%.

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{\text{Beban}}{\eta_{generator}} \times 100\% \\ &= \frac{55 \text{ MW}}{98.4\%} \times 100\% \\ &= 56 \text{ MW} \end{aligned}$$

Dari persamaan tersebut dapat dilakukan perbandingan antara daya input dan efisiensi aktual dengan daya input dan efisiensi berdasarkan *manual book* generator unit 2 saat beban 55 MW. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Data Aktual dengan Spesifikasi

	Daya Output (MW)	Daya Input (MW)	Efisiensi (%)
spesifikasi	55	56	98.4
Aktual	54.8	59.3	92.89%

Dari tabel tersebut dapat dilihat pada hasil perhitungan bahwa, daya masukan pada generator sudah mengalami kenaikan sebesar 3.3 MW sehingga efisiensi generator turun 5.51%. Kenaikan daya masukan dan berkurangnya efisiensi generator dapat disebabkan oleh rugi-rugi tembaga. Sehingga energi yang seharusnya diubah menjadi energi listrik akan berubah menjadi panas. Selain disebabkan oleh rugi daya pada generator, besar hasil perhitungan efisiensi generator juga dipengaruhi oleh rugi daya mekanis pada kopel turbin generator saat transfer daya antara turbin dan generator.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Daya masukan dan beban pada generator sinkron unit 2 memiliki efisiensi rata-rata pada bulan Februari 2019 sebesar 92.89%, dengan nilai efisiensi terendah generator sinkron unit 2 pada tanggal 27 Februari 2019 yaitu sebesar 90,32%, sedangkan nilai efisiensi generator tertinggi terjadi pada tanggal 3 Februari 2019 sebesar 94.90%.
2. Generator sinkron unit 2 mengalami penurunan efisiensi sebesar 5.51%, hal ini dapat dilihat dari perbandingan efisiensi berdasarkan *manual book* dengan perhitungan aktual. Efisiensi generator sinkron unit 2 berdasarkan hasil perhitungan rata-rata pada bulan Februari 2019 sebesar 92.89%, sedangkan efisiensi berdasarkan spesifikasi *manual book* sebesar 98,4%.
3. Perhitungan efisiensi pada generator dilakukan untuk mengetahui apakah generator masih dalam kondisi optimal atau tidak agar dapat dilakukannya *maintanace*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sekolah Tinggi Teknik PLN dan PT. Indonesia Power UPJP Kamojang yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aliansyah, E. (2008). Studi Analisa Daya Keluaran Generator Sinkron Tiga Phasa Dengan Rotor Silinder. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- [2] Balqis, E. R. (2012). Optimasi Daya Listrik pada PT Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang, Jawa Barat. *JURNAL TEKNIK POMITS*, 2.
- [3] Cahyadi, D. (2015). Analisa Perhitungan Efisiensi Turbine Generator QFSN-300-2-20B Unit 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU REMBANG. 1.
- [4] Hidayat, A. (2018). Analisis pengaruh beban terhadap efisiensi generator PLTU PT. Lestari Banten Energi.
- [5] Jepersen, S. (2016). Analisa Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Sinkron Unit 1 di PLTU PT. Bukit Asam (Persero) Tbk Tanjung Enim-Sumatera Selatan. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [6] Marsudi, D. (2011). *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [7] Meidi. (2015). Pengaruh Perubahan Daya Terpasang Terhadap Efisiensi Generator 11 kV/20 MW Pada PLTG Unit 3 Keramasan PT. PLN (Persero) Palembang. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [8] Merle C. Potter, P. (n.d.). *Termodinamika Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- [9] Nurakmali, M. R. (2017). Analisis Efisiensi Generator Sinkron Unit 2 11,8 KV 55 MW Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi PT. Indonesia Power UPJP Kamojang. Purbalingga.
- [10] Setyawan, W. (2014). Analisa Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator PLTU di PT PJB Unit Pembangkitan Muara Karang. Jakarta: Universitas Mercu Buana.
- [11] (2007). *Teknologi Operasi PLTP*. Jakarta: PT. PLN (Persero) Unit Pendidikan dan Pelatihan Suralaya.
- [12] Jurnal, R. (2018). Kajian Pemasangan Lightning Arrester Pada Sisi Hv Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung. *Energi & Kelistrikan*, 9(2), 168-179. <https://doi.org/10.33322/energi.v9i2.42>
- [13] Jurnal, R. (2019). Kajian Sistem Kinerja Plts Off-Grid 1 kWp DI STT PLN. *Energi & Kelistrikan*, 10(1), 38-44. <https://doi.org/10.33322/energi.v10i1.322>
- [14] Handayani, O., Darmana, T., & Widyastuti, C. (2019). Analisis Perbandingan Efisiensi Penyaluran Listrik Antara Penghantar ACSR dan ACCC pada Sistem Transmisi 150kV. *Energi & Kelistrikan*, 11(1), 37 - 45. <https://doi.org/10.33322/energi.v11i1.480>
- [15] Jurnal, R. (2018). Pemanfaatan Radiasi Energi Tegangan 150 Kv Untuk Lampu Led Penerangan Jalan. *KILAT*, 7(1), 51-55.