

Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Sistem Pada PLTA Malea 2x45 MW

Rivaldho Alvians' Leo^{1*}, La Ode Musa², Sukma Abadi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

*E-mail korespondensi: laode_musa@poliupg.ac.id

Abstract: This study aims to analyze the system efficiency of the Malea Hydroelectric Power Plant (PLTA), located in Toraja, South Sulawesi, with a total capacity of 2x45 MW. The data used in this research was collected from daily logsheets during the period of March 6 to 12, 2024, covering key parameters such as water flow rate, turbine load, and power output. The analysis results show that the system efficiency reached its highest value of 83% in unit 1 under optimal load conditions, while unit 2 showed a maximum efficiency of 82%. The study identifies that system efficiency is influenced by various factors, including load levels, the technical specifications of the turbines and generators, and maintenance practices. It was also found that turbine and generator efficiency have a significant correlation with overall system efficiency. The higher the efficiency of the turbine in converting the water's potential energy into mechanical energy and the more efficient the generator is in converting mechanical energy into electrical energy, the higher the unit's system efficiency will be. These findings provide significant insights for the management and operation of the Malea Hydroelectric Power Plant, emphasizing the need for effective maintenance strategies to improve overall system efficiency. This research contributes to efforts in enhancing the performance of hydroelectric power plants as a sustainable renewable energy source in Indonesia.

Keywords: Power Plant; system efficiency; load management; renewable energy; turbine-generator efficiency.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi sistem pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Malea yang terletak di Toraja, Sulawesi Selatan, dengan kapasitas total 2x45 MW. Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari logsheet harian selama periode 6 hingga 12 Maret 2024, yang mencakup parameter penting seperti debit air, beban yang diterima oleh turbin, dan output daya. Hasil analisis menunjukkan bahwa efisiensi sistem mencapai nilai tertinggi sebesar 83% pada unit 1 dalam kondisi beban optimal, sementara unit 2 menunjukkan efisiensi maksimum sebesar 82%. Penelitian ini mengidentifikasi bahwa efisiensi sistem dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk tingkat pembebanan, spesifikasi teknis dari turbin dan generator, serta praktik pemeliharaan yang dilakukan. Ditemukan pula bahwa efisiensi turbin dan generator memiliki korelasi yang signifikan terhadap efisiensi sistem secara keseluruhan. Semakin tinggi efisiensi turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik, dan semakin efisien generator dalam mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, maka efisiensi sistem unit juga akan meningkat. Temuan ini memberikan wawasan yang signifikan bagi pengelolaan dan pengoperasian PLTA Malea, serta menekankan perlunya strategi pemeliharaan yang efektif untuk meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Penelitian ini berkontribusi pada upaya peningkatan kinerja PLTA sebagai sumber energi terbarukan yang berkelanjutan di Indonesia.

Kata kunci : PLTA Malea; efisiensi sistem; pembebanan; energi terbarukan; efisiensi turbin-generator.

I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga air menghasilkan energi listrik dengan mengubah energi potensial air pada tingkat tertentu. PLTA menggunakan energi terbarukan dan respons cepat terhadap kondisi beban puncak dan gangguan. Air dari kolam Tando dialirkan ke turbin melalui kanal atau penstock. Kemudian air menumbuk sudu-sudu turbin, menyebabkan turbin dan generator berputar. Selain dapat digunakan secara langsung, energi yang dibangkitkan dapat disimpan dalam baterai [1].

Permintaan pasokan listrik di daerah Tana Toraja terus meningkat dari tahun ke tahun. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, PLN SULSELBAR terus meningkatkan kapasitas sumber energi listrik dengan mengoptimalkan potensi aliran sungai Sa'dan Tanah Toraja. Pembangunan PLTA Malea Hydro Electric Power Plant 2x45 MW merupakan upaya pemerintah dalam memenuhi kebutuhan energi listrik tersebut [2].

Beban yang diberikan pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Malea memainkan peran penting dalam menentukan efisiensi sistemnya. Oleh karena itu, meninjau pembebanan terhadap efisiensi sistem PLTA merupakan langkah penting untuk memaksimalkan output daya dan meminimalkan biaya operasi. Pada situasi saat ini, Unit 1 dan 2 telah beroperasi kurang lebih 2 tahun, dan PLTA Malea mengalami permasalahan yang dapat menurunkan efisiensi unit secara keseluruhan, terutama efisiensi sistem. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi permasalahan tersebut.

Dalam penelitiannya [3], melakukan analisis pengaruh pembebanan terhadap efisiensi turbin generator QFSN-300-2-20B selama 5 tahun beroperasi. Mereka menemukan bahwa faktor-faktor seperti lamanya pemeliharaan, kesalahan dalam pengoperasian dan perawatan, derating (penurunan beban) atau trip (penutup unit) sering menyebabkan penurunan efisiensi turbin. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemeriksaan efisiensi generator untuk menentukan apakah generator masih berada dalam batasan kondisi yang andal atau tidak. Hasil dari pemeriksaan yang dilakukan selama sepuluh hari menunjukkan bahwa efisiensi rata-rata generator unit 10 sebesar 93.15% dan efisiensi rata-rata generator unit 20 sebesar 92.39%. Apabila dibandingkan dengan efisiensi generator secara desain sebesar 98%, maka nilai efisiensi Turbine Generator QFSN-300-2-20B saat ini mengalami penurunan sebesar $\pm 5\%$.

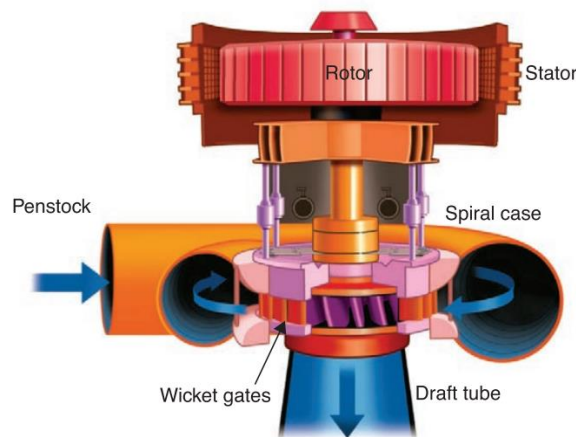
Penelitian lain [4], yang dilakukan juga menunjukkan bahwa PLTA Wonogiri memiliki dua generator, masing-masing menghasilkan 6,2 MW daya maksimal. Untuk mengetahui apakah generator ini masih dalam kondisi optimal atau kurang optimal, dilakukan analisis efisiensi generator. Untuk menghitung efisiensi ini, data daya terpakai dan data air dikumpulkan; analisis yang dilakukan pada tanggal 1 hingga 7 Maret 2020 menunjukkan bahwa generator memiliki keandalan kerja yang baik sebagai penghasil daya, dengan efisiensi tertinggi sebesar 6,2 MW sebesar 92,85% dan efisiensi terendah sebesar 3,6 MW sebesar 74,44%. Dengan pembebanan generator PLTA yang lebih besar, efisiensi generator PLTA meningkat.

Prinsip Kerja Penggerak Mula dan Generator

Pada PLTA Malea, penggerak mula generator adalah turbin air. Jenis turbin air yang digunakan sebagai penggerak mula generator unit 1 dan unit 2 adalah jenis turbin reaksi yaitu turbin francis vertical shaft. Turbin air adalah komponen konversi yang merubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik yang dihasilkan dalam bentuk putaran poros turbin dengan bantuan roda gigi disalurkan menuju poros generator. Sehingga energi mekanik pada generator dapat diubah menjadi energi listrik dengan bantuan medan magnet yang dihasilkan dari arus eksitasi.



Gambar 1. Turbin Francis



Gambar 2. Sistem PLTA

Daya turbin air ditentukan oleh besarnya debit air dan tinggi jatuh air (head) serta efisiensi dari turbin air tersebut [5]. Adapun rumus efisiensi turbin air adalah:

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{P_{\text{out Turbin}}}{P_{\text{Hidrolik}}} \times 100\%$$

Berdasarkan Hukum Bernauli

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Energi yang dimiliki fluida yang mengalir terdiri dari energi-energi akibat tekanan, kecepatan dan kedudukan. Jika kerugian head diperhitungkan pada aliran fluida, maka untuk mencari head atau ketinggian air jatuh berdasarkan persamaan bernauli adalah sebagai berikut:

$$H_T = Z_1 - Z_2 - \frac{V^2}{2g} - H_{L\text{ mayor}} - H_{L\text{ minor}}$$

Berdasarkan persamaan *Hazen William* diperoleh nilai H_L Mayor (*Head Losses Mayor*) sebagai berikut [6]:

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot 0,8492 C \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54}$$

Tabel 1. Koefisien Kekerasan Pipa Hazen – Williams

<i>Extremely smooth and straight pipes</i>	140
<i>New stell or Cast iron</i>	130
<i>Wood, Concrete</i>	120
<i>New riveted stell; vitrified</i>	110

Adapun Persamaan *Head Losses Minor* (H_L minor) sebagai berikut [7]:

$$H_{L\text{ minor}} = K \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Pengaruh Pembebanan terhadap Efisiensi Sistem

Pembebanan generator akan mempengaruhi nilai efisiensi sistem unit. Semakin tinggi pembebanan, maka semakin tinggi pula efisiensi sistem unit. Hal ini dikarenakan semakin tinggi pembebanan, maka semakin besar pula daya keluaran generator. Dengan demikian, rasio antara daya keluaran dengan daya masukan (efisiensi) akan semakin tinggi.

$$\eta_{\text{generator}} = \frac{P_{\text{out Generator}}}{P_{\text{in Mekanik}}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{generator}} = \frac{\sqrt{3} \times V_l \times I_l \times \cos \phi}{\rho \times Q \times g \times H_T \times \eta_{\text{Turbin}}} \times 100\%$$

Pengaruh pembebanan terhadap efisiensi sistem unit dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan berikut:

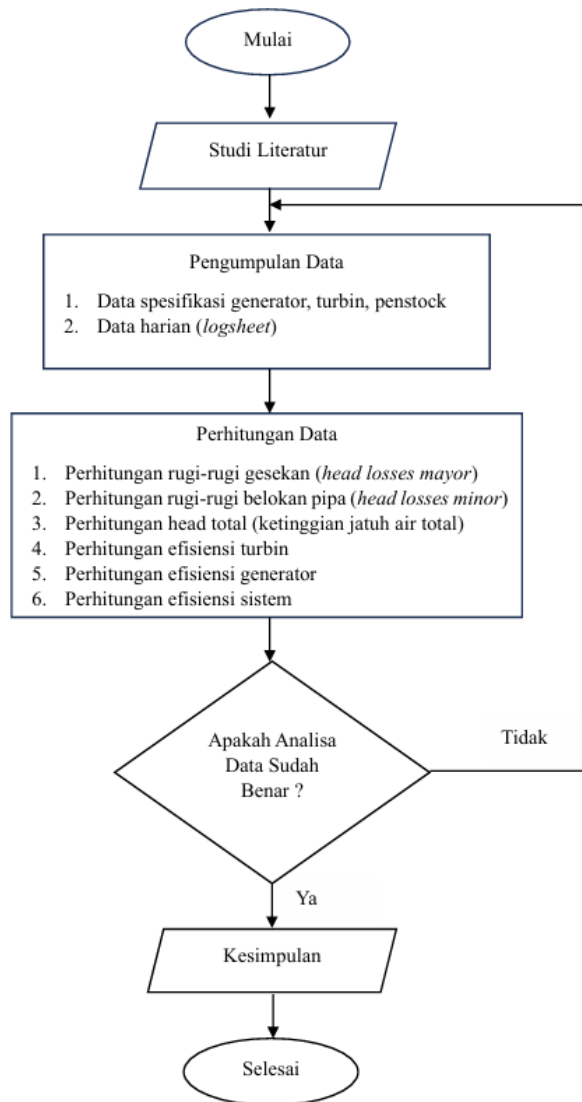
$$\eta_{\text{sistem}} = \eta_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}}$$

Efisiensi sistem unit adalah perkalian antara efisiensi turbin dengan efisiensi generator [5].

II. METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir

Prosedur untuk penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, adapun tahap penelitian ini akan disajikan dalam bentuk flowchart.



Gambar 3. Diagram Alir

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Dibawah ini adalah data spesifikasi turbin unit 1&2 dan data harian PLTA Malea yang menyuplai system kelistrikan SULSELBAR, dimana pembebanan generator tergantung dari permintaan PT.PLN Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengatur Beban (UP3B).

Tabel 1. Data spesifikasi turbin unit 1 dan unit 2 PLTA Malea

Brand	Toshiba
Type	Turbin Francis Vertical Shaft
Daya	49,5 MW
Tinggi Jatuh Normal	417,02 m
Tinggi Jatuh Maksimal	435,39 m
Putaran Normal	600 r/min
Debit	12,95 m ³ /s

Tabel 2. Data Harian (logsheet) PLTA Malea pada tanggal 6 Maret 2024

No.	Waktu	Unit 1					Unit 2					Elevasi Sandtrap (m)	Elevasi Tailrace (m)
		Daya Aktif (MW)	Debit Air (m ³ /s)	Tegangan (kV)	Arus (kA)	Cos θ	Daya Aktif (MW)	Debit Air (m ³ /s)	Tegangan (kV)	Arus (kA)	Cos θ		
1	00:00	43,55	12,53	11,31	2,26	0,98	28,90	8,32	11,33	1,53	0,96	731,57	299,63
2	01:00	34,43	9,91	11,31	1,81	0,97	29,01	8,35	11,33	1,54	0,96	731,53	299,63
3	02:00	34,45	9,91	11,30	1,81	0,97	28,97	8,34	11,33	1,54	0,96	731,52	299,63
4	03:00	25,56	7,36	11,31	1,39	0,94	29,02	8,35	11,33	1,55	0,95	731,51	299,63
5	04:00	25,47	7,33	11,30	1,40	0,93	29,01	8,35	11,32	1,56	0,95	731,50	299,63
6	05:00	26,22	7,55	11,30	1,43	0,93	29,02	8,35	11,32	1,56	0,95	731,49	299,63
7	06:00	32,11	9,24	11,31	1,70	0,96	29,04	8,36	11,33	1,54	0,96	731,47	299,63
8	07:00	42,45	12,22	11,31	2,20	0,98	28,97	8,34	11,33	1,52	0,97	731,47	299,63
9	08:00	42,89	12,34	11,32	2,21	0,99	28,35	8,16	11,34	1,48	0,98	731,47	299,63
10	09:00	45,49	13,09	11,34	2,32	0,99	27,87	8,02	11,36	1,43	0,99	731,45	299,63
11	10:00	45,23	13,02	11,34	2,31	1,00	28,24	8,13	11,37	1,45	0,99	731,41	299,63
12	11:00	45,38	13,06	11,34	2,31	1,00	28,24	8,13	11,36	1,45	0,99	731,39	299,63
13	12:00	44,53	12,81	11,34	2,27	0,99	28,06	8,08	11,36	1,44	0,99	731,39	299,63
14	13:00	44,55	12,82	11,35	2,27	1,00	28,11	8,09	11,37	1,44	0,99	731,38	299,63
15	14:00	44,90	12,92	11,35	2,28	1,00	28,13	8,10	11,37	1,43	0,99	731,37	299,63
16	15:00	44,26	12,74	11,36	2,25	1,00	28,01	8,06	11,37	1,43	1,00	731,37	299,63
17	16:00	44,76	12,88	11,35	2,28	1,00	28,20	8,12	11,37	1,44	0,99	731,35	299,63
18	17:00	44,66	12,85	11,33	2,29	0,99	28,21	8,12	11,36	1,46	0,98	731,39	299,63
19	18:00	43,72	12,58	11,33	2,25	0,99	27,87	8,02	11,35	1,46	0,97	731,49	299,63
20	19:00	44,07	12,68	11,33	2,27	0,99	28,11	8,09	11,35	1,47	0,97	731,90	299,63
21	20:00	44,15	12,71	11,33	2,28	0,99	28,09	8,08	11,35	1,48	0,97	732,10	299,63
22	21:00	44,60	12,83	11,33	2,30	0,99	28,21	8,12	11,35	1,48	0,97	732,11	299,63
23	22:00	44,20	12,72	11,32	2,29	0,98	28,13	8,10	11,34	1,49	0,96	732,08	299,63
24	23:00	44,41	12,78	11,32	2,28	0,99	16,01	4,61	11,35	0,87	0,93	732,03	299,63

B. Hasil Perhitungan

Setelah dilakukan pengamatan selama 7 hari dari tanggal 6 Maret 2024 sampai 12 Maret 2024 selama 24 jam, kemudian didapatkan parameter operasi PLTA Malea 2x45 MW unit 1 dan unit 2. Dari data yang telah didapat dari hasil pengamatan tersebut, dilakukan perhitungan untuk mengetahui pengaruh pembebanan terhadap efisiensi sistem.

1. Head Losses Mayor

Dari tabel 1.1 koefisien kekerasan pipa, persamaan *Hazen William* dapat diperoleh *Head Losses* (H_L) dengan pipa besi baja ($C = 130$) sebagai berikut:

$$Q = \frac{\pi}{4} Dp^2 \cdot 0,8492 C \cdot \frac{Dp^{0,63}}{4} \cdot S^{0,54}$$

$$12,53 \frac{m^3}{s} = \frac{\pi}{4} 4,5^2 \cdot 0,8492 (130) \cdot \frac{4,5^{0,63}}{4} \cdot S^{0,54}$$

Maka diperoleh nilai *slope* gradien energi (S) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S^{0,54} &= \frac{12,53}{1131,649} \\ S^{0,54} &= 0,011075 \\ S &= 0,000239 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh nilai *Head Losses Mayor* (H_L) dari pipa penstock:

$$\begin{aligned} H_{L\text{ mayor}} &= S \cdot L \\ &= 0,000239 \cdot 1075 \\ H_{L\text{ mayor}} &= 0,257 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Head Losses Minor

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D_p^2} \\ V &= \frac{12,53}{\frac{\pi}{4} 4,5^2} \\ V &= 0,788 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai kecepatan aliran air (V), dapat diperoleh nilai *Head Losses Minor* (H_L) dari pipa penstock dengan nilai koefisien kerugian ($K=0,04$), pada persamaan berikut:

$$\begin{aligned} H_{L\text{ minor}} &= K \frac{v^2}{2 \cdot g} \\ H_{L\text{ minor}} &= 0,04 \cdot \frac{0,788^2}{2 \cdot 9,81} \\ H_{L\text{ minor}} &= 0,122 \end{aligned}$$

3. Head Losses Total

$$\begin{aligned} H_T &= Z_1 - Z_2 - \frac{v^2}{2g} - H_{L\text{ mayor}} - H_{L\text{ minor}} \\ H_T &= 731,57 - 299,63 - \frac{0,788^2}{2 \cdot 9,8} - 0,257 - 0,122 \\ H_T &= 428,51 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Efisiensi Turbin

berdasarkan tabel 1:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{turbin}} &= \frac{P_{\text{out Turbin}}}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H} \times 100\% \\ \eta_{\text{turbin}} &= \frac{49,5}{1000 \cdot 9,81 \cdot 12,95 \cdot 417,02} \times 100\% \\ \eta_{\text{turbin}} &= 93,43\% \end{aligned}$$

5. Efisiensi Generator

$$\begin{aligned} \eta_{\text{generator}} &= \frac{\sqrt{3} \times V_l \times I_l \times \cos \phi}{\rho \times Q \times g \times H_T \times \eta_{\text{Turbin}}} \times 100\% \\ \eta_{\text{generator}} &= \frac{\sqrt{3} \times 11,31 \times 2,26 \times 0,98}{1000 \times 12,53 \times 9,81 \times 428,51 \times 0,9343} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\eta_{\text{generator}} = \frac{43,39 \text{ MW}}{49,23 \text{ MW}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{generator}} = 88,14\%$$

6. Efisiensi Sistem

$$\eta_{\text{sistem}} = \eta_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}}$$

$$\eta_{\text{sistem}} = 93,43 \% \times 88,14 \%$$

$$\eta_{\text{sistem}} = 82,35 \%$$

Berdasarkan hasil analisis maka pada data harian (*logsheet*) tanggal 6 Maret 2024 Pukul 00:00, nilai efisiensi sistem unit 1 yang didapatkan adalah 82,35%.

C. Pembahasan

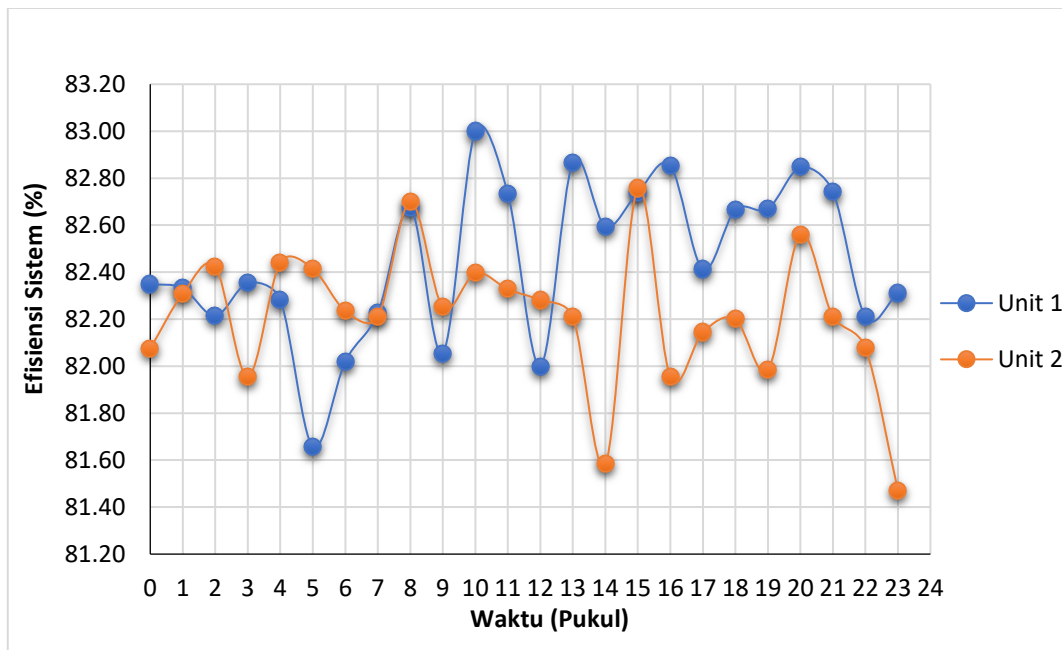
Berdasarkan hasil dari perhitungan dan grafik efisiensi sistem di PLTA Malea dari tanggal 6 Maret 2024 s.d 12 Maret 2024, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Analisis Data Logsheet PLTA Malea Pada tanggal 6 Maret 2024

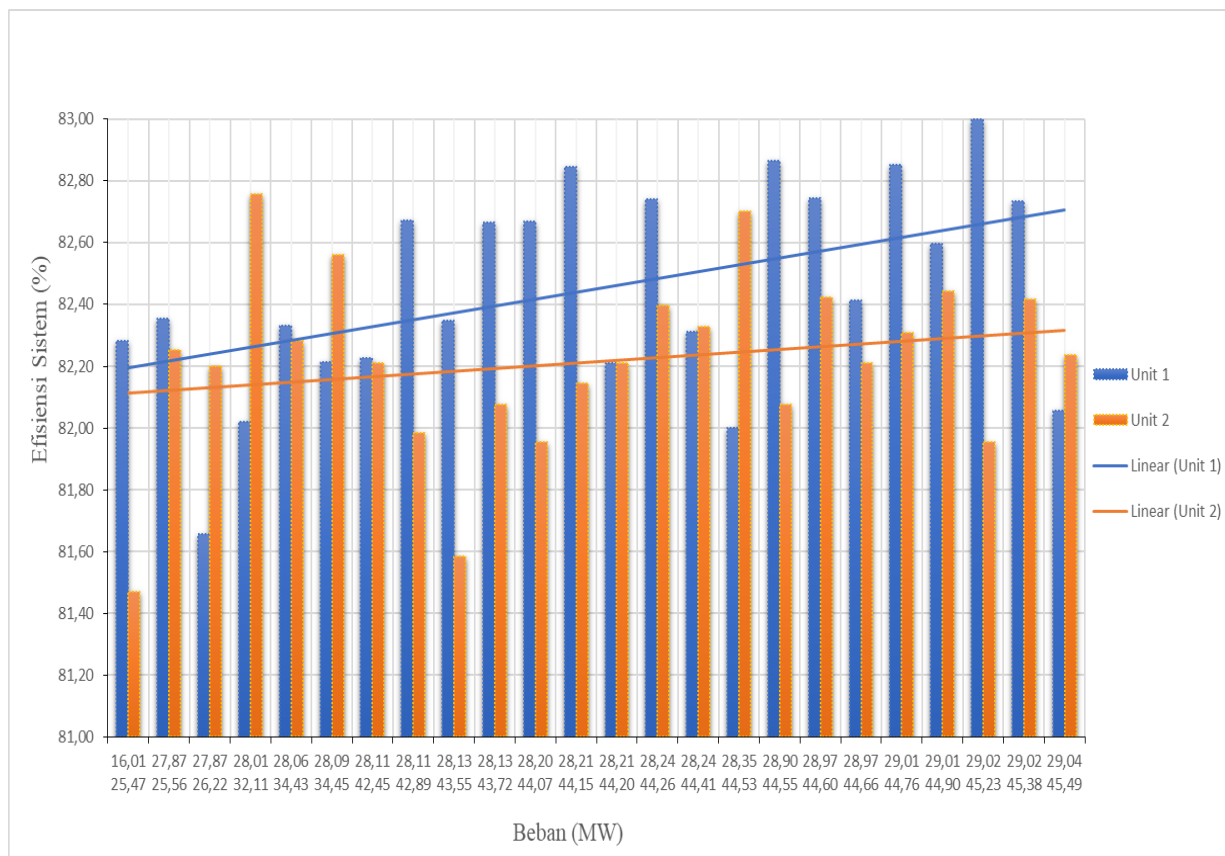
Unit 1		Unit 2	
Pout (MW)	Efisiensi Sistem (%)	Pout (MW)	Efisiensi Sistem (%)
25,47	82,28	16,01	81,47
25,56	82,35	27,87	82,25
26,22	81,66	27,87	82,20
32,11	82,02	28,01	82,76
34,43	82,33	28,06	82,28
34,45	82,21	28,09	82,56
42,45	82,23	28,11	82,21
42,89	82,67	28,11	81,98
43,55	82,35	28,13	81,58
43,72	82,67	28,13	82,08
44,07	82,67	28,20	81,95
44,15	82,85	28,21	82,14
44,20	82,21	28,21	82,21
44,26	82,74	28,24	82,40
44,41	82,31	28,24	82,33
44,53	82,00	28,35	82,70
44,55	82,87	28,90	82,07
44,60	82,74	28,97	82,42
44,66	82,41	28,97	82,21
44,76	82,85	29,01	82,31
44,90	82,59	29,01	82,44
45,23	83,00	29,02	81,96
45,38	82,73	29,02	82,41
45,49	82,05	29,04	82,23

Nilai Korelasi Unit 1 : 0,540.

Nilai Korelasi Unit 2 : 0,533.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Efisiensi Sistem Unit 1 dan Unit 2 Pada 6 Maret 2024



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Beban Dengan Efisiensi Sistem Unit 1 dan Unit 2 Pada 6 Maret 2024

Pembahasan:

Efisiensi sistem unit yang didapat dari grafik hasil perbandingan antara daya keluaran sebagai daya pembebanan terhadap efisiensi sistem dari data logsheet tanggal 6 maret 2024, Pada tabel 3 dan gambar 2 juga tampak bahwa efisiensi sistem unit 1 rata-rata lebih tinggi daripada efisiensi sistem pada unit 2 dengan rata-rata efisiensi system unit 1 yaitu 81,66% s.d 83,00% dan rata-rata efisiensi system unit 2 yaitu 81,47% s.d 82,76%. Melalui data pada tabel 4.11 dan gambar 4.2 tersebut, kita mendapatkan nilai korelasi antara daya output unit 1 dengan efisiensi sistem yaitu 0,540 lebih besar daripada nilai korelasi daya output unit 2 dengan efisiensi sistem yaitu 0,533 yang menyatakan nilai korelasi daya keluaran Unit 1 dan Unit 2 terhadap nilai efisiensi sistem cukup kuat dikarenakan nilai korelasi Unit 1 dan Unit 2 berada pada $x > 0,250$. Pada tabel 3 dan gambar 2 secara umum terlihat hubungan yang linier antara daya output dan efisiensi sistem, baik pada unit 1 maupun pada unit 2 melalui tren line unit 1 dan unit 2.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa penulis, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan data harian, nilai efisiensi sistem unit #1 yang tertinggi sebesar 83,00% pada kisaran beban 45,23 MW pada data harian tanggal 06 Maret 2024 di Pukul 10.00. Dan nilai efisiensi sistem unit #1 terendah sebesar 81,19% pada kisaran beban 21,23 MW pada data harian tanggal 07 Maret 2024 di jam 06:00.
2. Berdasarkan data harian, nilai efisiensi sistem unit #2 yang tertinggi sebesar 82,97% pada kisaran beban 44,57 MW pada data harian tanggal 07 Maret 2024 di jam 11.00 dan nilai efisiensi sistem unit #2 terendah sebesar 0% pada beban 0 MW pada beberapa data harian (*logsheet*).
3. Berdasarkan data harian, efisiensi sistem unit di PLTA Malea pada Unit #1 lebih baik dari pada Unit #2.
4. Nilai efisiensi sistem unit #1 dan unit #2 pada PLTA Malea berbanding lurus dengan besarnya nilai output atau permintaan beban Listrik dari PLN.
5. Seringkali Unit #2 mengalami keadaan trip akibat dari gangguan sistem maupun maintenance.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasriani, Muh.Said L, Andi Ferawati Jafar, 2017. "Penerapan Media Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Terhadap Keterampilan Siswa,". Jurnal Pendidikan Fisika, vol. 05, no. 2.
- [2] Linggi, Angga Allo, A. Ranteallo, Vicky Saputra P., dan Igo Putra Palangi, 2021. "*Pendingin Heat Exchanger*". Laporan Kerja Praktek Malea.
- [3] Cahyadi, D. (2015). Analisa Perhitungan Efisiensi Turbine Generator QFSN-300-2-20B Unit 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU Rembang. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [4] Dandi Oktavian, 2021. "Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator Pada PLTA Wonogiri". Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [5] Reza Risaldi Robby, A. Khayrunnisa, 2019. "Analisis Efisiensi Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihydro (PLTM) Malea di Kabupaten Tana Toraja". Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [6] Riza Azharny, 2021. "Analisa Perbandingan Efisiensi Generator Sinkron Unit 1 Dan 2 di PLTA Sipansihaporas". Universitas Pembangunan Panca Budi.
- [7] Abdul Holik, Riza Muhamad Yunus, 2019. "Analisis Faktor Head Losses Pipa Pesat terhadap daya Yang Dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Parakan Kondang". Jurnal Teknik Mesin, Universitas Majalengka