

Analisis Performansi Turbin Uap dengan Kapasitas 115 MW dan Putaran 3000 Rpm pada unit 1 PLTU Labuhan Angin Sibolga

Author:

Gunawan Sihombing¹
Kurniawan Lubis²
Parlindungan
Panggabean³

Affiliation:

Universitas Amir
Hamzah^{1,2,3}

Corresponding email

Gunawansihombing6939@gmail.com

Histori Naskah:

Submit: 2024-10-09
Accepted: 2024-10-14
Published: 2024-10-15



This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Abstrak:

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu tulang punggung dalam penyediaan energi listrik di Indonesia Mengingat peningkatan konsumsi energi listrik yang signifikan seiring dengan pertumbuhan populasi dan industri, efisiensi dan keandalan PLTU menjadi kunci dalam memastikan suplai energi yang stabil dan berkelanjutan, Untuk mencapai efisiensi yang tinggi, turbin harus dioperasikan pada kondisi optimal sesuai dengan spesifikasi desainnya dengan alasan tersebut, penulis tertarik untuk membahas lebih rinci dan spesifik mengenai Analisis performansi turbin uap dengan kapasitas 115 MW dan putaran 3000 RPM pada Unit 1 PLTU Labuhan Angin Sibolga Penelitian bertujuan menganalisis perhitungan Turbin Heat Rate turbin uap dan Efisiensi Turbin pada PLTU Labuhan Angin. Berdasarkan analisis performa Turbine Heat Rate (THR) dan efisiensi turbin untuk Unit 1 PLTU Labuhan Angin selama periode 1 Mei 2024 hingga 10 Mei 2024, dapat disimpulkan bahwa Turbine Heat Rate (THR) rata-rata adalah 2,83 kJ/kWh, yang menunjukkan efisiensi konversi energi yang baik. Efisiensi Turbin rata-rata sebesar 35,294% dari hasil tersebut turbin uap kapasitas 1115 MW dan Putaran 3000 Rpm pada unit 1 PLTU Labuhan Angin Sibolga memenuhi standart layak operasional sesuai dengan standart turbin uap di Indonesia (30%–40%).

Kata kunci: Efisiensi, Heat Reat, Performansi, Turbin

Pendahuluan

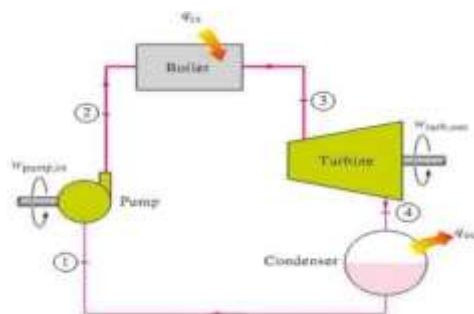
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu tulang punggung dalam penyediaan energi listrik di Indonesia[1][2]. Mengingat peningkatan konsumsi energi listrik yang signifikan seiring dengan pertumbuhan populasi dan industri, efisiensi dan keandalan PLTU menjadi kunci dalam memastikan suplai energi yang stabil dan berkelanjutan[3]. Di dalam PLTU, turbin uap berfungsi sebagai komponen utama yang mengkonversi energi panas dari uap menjadi energi mekanik[4][2], yang kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Oleh karena itu, performansi turbin uap sangat mempengaruhi efisiensi keseluruhan dan kapasitas produksi listrik dari PLTU[5]. Pada Unit 1 PLTU Labuhan Angin Sibolga, digunakan turbin uap dengan kapasitas 115 MW dan putaran 3000 RPM. Kinerja turbin uap ini sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi termodinamika, tekanan dan suhu uap yang masuk ke turbin, serta kondisi operasional lainnya.[6] Untuk mencapai efisiensi yang tinggi, turbin harus dioperasikan pada kondisi optimal sesuai dengan spesifikasi desainnya[1] Dengan alasan tersebut, penulis tertarik untuk membahas lebih rinci dan spesifik mengenai "Analisis performansi turbin uap dengan kapasitas 115 MW dan putaran 3000 RPM pada Unit 1 PLTU Labuhan Angin Sibolga" yang akan membahas tentang efisiensi pada turbin uap yang dimanfaatkan sebagai penunjang kinerja turbin uap

Untuk mencapai efisiensi yang tinggi, turbin harus dioperasikan pada kondisi optimal sesuai dengan spesifikasi desainnya[7] Kapasitas besar dan kecepatan putar tinggi yang dihasilkan oleh turbin ini menuntut adanya tekanan dan evaluasi kinerja secara berkala[8]. Melalui analisis kinerja, dapat diketahui apakah turbin berfungsi pada tingkat efisiensi yang diharapkan atau ada penurunan kinerja yang perlu diperbaiki. Selain itu, analisis ini juga berguna untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja turbin, seperti kualitas bahan bakar, kondisi operasional, dan pemeliharaan yang dilakukan. Penelitian bertujuan menganalisis perhitungan Turbin Heat Rate turbin uap dan Efisiensi Turbin pada PLTU Labuhan Angin.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

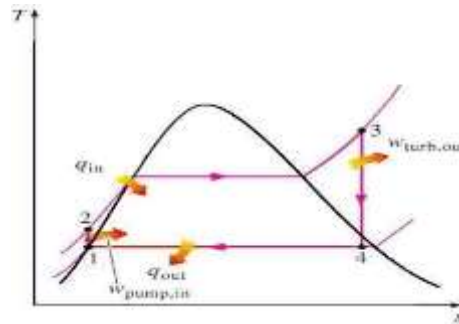
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas untuk menghasilkan energi listrik. Proses ini dimulai dengan pembakaran bahan bakar seperti batu bara, minyak, atau gas, yang kemudian menghasilkan uap dengan tekanan tinggi.

Uap ini digunakan untuk memutar turbin, yang porosnya terhubung langsung ke generator. Ketika turbin berputar, generator akan mengubah energi kinetik yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik. Proses ini adalah contoh dari konversi energi termal menjadi energi mekanik, dan akhirnya menjadi energi listrik.



Gambar 2 Proses Kerja PLTU

Pada PLTU, bahan bakar yang digunakan biasanya berupa bahan bakar primer seperti batu bara, gas, bahan bakar minyak (BBM), dan bahan bakar lain yang sejenis pembakaran bahan bakar ini dilakukan dalam ruang bakar atau boiler, di mana energi kimia dari bahan bakar diubah menjadi energi panas. Energi panas tersebut kemudian digunakan untuk memanaskan air yang berada dalam pipa-pipa boiler, menghasilkan uap bertekanan tinggi. Uap ini kemudian dialirkan ke turbin uap, di mana energi panas dan tekanan uap diubah menjadi energi mekanik untuk memutar turbin. Salah satu siklus termodinamika yang mendasari operasi PLTU adalah Siklus Rankine. Siklus Rankine adalah siklus ideal yang digunakan dalam banyak pembangkit tenaga uap, termasuk PLTU. Siklus ini melibatkan perubahan fase fluida kerja, di mana air dipanaskan hingga menjadi uap dan kemudian didinginkan kembali menjadi air. Siklus Rankine berbeda dari siklus udara, seperti Siklus Carnot, karena perpindahan kalor pada Siklus Rankine dapat terjadi secara isothermal, terutama selama proses penguapan dan kondensasi.



Gambar 3 Siklus Rankine

Proses Siklus Rankine terdiri dari empat tahap utama:

a) (1-2) Kompresi Isentropik:

Air yang berada pada kondisi cair jenuh dipompa ke dalam boiler pada tekanan operasi yang lebih tinggi. Selama proses ini, suhu air meningkat karena volume spesifiknya berkurang.

b) (2-3) Penambahan Panas Isobarik:

Air yang berada dalam kondisi cair terkompresi kemudian dipanaskan dalam boiler pada tekanan tetap hingga menjadi uap superheated.

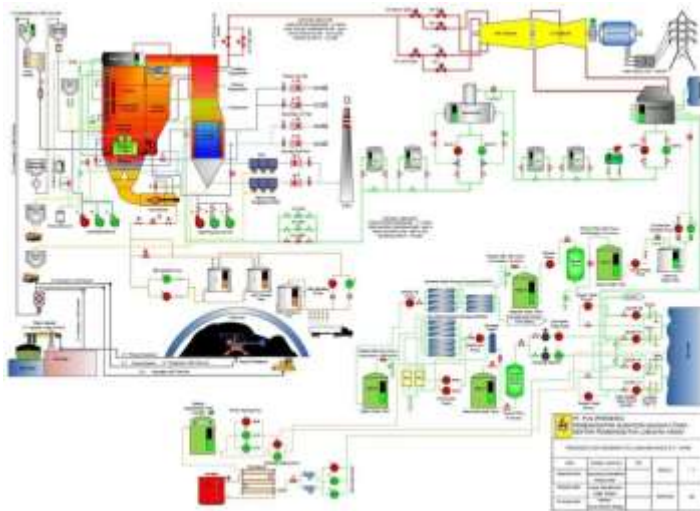
c) (3-4) Ekspansi Isentropik:

Uap superheated ini kemudian memasuki turbin, di mana ia mengalami ekspansi isentropik. Proses ini menghasilkan kerja yang digunakan untuk memutar turbin dan, akhirnya, generator listrik.

d) (4-1) Kondensasi Isobarik:

Setelah melalui turbin, uap yang sudah kehilangan sebagian besar energinya akan dikondensasikan dalam kondensor. Proses ini terjadi pada tekanan dan suhu konstan, dan uap berubah kembali menjadi air sebelum dikembalikan ke siklus awal.

PLTU bekerja dengan prinsip mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas, kemudian mengubah energi panas ini menjadi energi kinetik melalui uap, yang akhirnya diubah menjadi energi mekanik dan kemudian menjadi energi listrik. Proses konversi energi ini melibatkan berbagai jenis energi, termasuk energi kimia, energi kalor, energi kinetik, dan energi mekanik. Semua proses ini terjadi dalam suatu siklus tertutup, di mana fluida kerja, dalam hal ini air, mengalami perubahan fase dari air menjadi uap dan kembali menjadi air. Dalam siklus ini, fluida kerja memainkan peran penting sebagai perantara yang mentransfer energi melalui berbagai tahap konversi di dalam PLTU. Fluida kerja mengalir melalui berbagai komponen utama PLTU, seperti boiler, turbin, dan kondensor, dalam siklus tertutup yang memastikan efisiensi energi yang optimal proses ini memungkinkan PLTU untuk menghasilkan listrik dalam jumlah besar, menjadikannya salah satu sumber energi utama di banyak negara. Berikut adalah salah satu contoh siklus kerja di lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Labuhan Angin:



Gambar 4 Siklus PLTU Labuhan Angin

Dengan menggunakan siklus Rankine dan prinsip termodinamika lainnya, PLTU dapat beroperasi dengan efisiensi tinggi, meskipun terdapat beberapa tantangan seperti dampak lingkungan dari pembakaran bahan bakar fosil dan kebutuhan akan pemeliharaan yang kompleks. Namun, keandalan dan kapasitas tinggi yang dimiliki oleh PLTU membuatnya tetap menjadi pilihan utama dalam pembangkitan listrik skala besar.

Analisis Kinerja Turbin Uap

Kinerja turbin uap sangat penting untuk menentukan efisiensi dan efektivitas dalam proses konversi energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Analisis kinerja turbin uap melibatkan berbagai parameter, di antaranya adalah heat rate dan efisiensi. Kedua parameter ini digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik turbin uap mengubah energi panas menjadi energi mekanik yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik.

Heat Rate Turbin

Heat Rate merupakan parameter penting dalam menilai kinerja suatu turbin uap, khususnya dalam pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Heat Rate pada dasarnya adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kWh semakin rendah nilai Heat Rate, semakin efisien sistem tersebut dalam mengonversi energi input menjadi energi listrik. Sebaliknya, semakin tinggi nilai Heat Rate, semakin besar energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu unit listrik, yang berarti biaya operasi PLTU juga akan lebih tinggi. Heat Rate Turbin (THR) menunjukkan perbandingan antara total energi yang digunakan untuk memutar turbin dengan energi listrik yang dihasilkan oleh generator. THR dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$THR = \frac{M \times (h_1 - h_2)}{\text{gross output}} \quad (1)$$

Di mana:

THR : Turbin Heat Rate (kJ/kWh)

\dot{m}_1 : Laju Aliran Massa Fluida (kg/s)

h_1 : Enthalpy Steam Out dari Boiler (kJ/kg)

h_2 : Enthalpy Water In dari Boiler (kJ/kg)

Gross Output: Daya Output Generator (kW)

Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin adalah parameter yang menunjukkan sejauh mana turbin mampu mendekati kondisi idealnya dalam mengonversi energi termal menjadi energi mekanik dan kemudian menjadi energi listrik. Efisiensi ini dinyatakan dalam persen (%) dan merupakan indikator utama keberhasilan kinerja turbin. Efisiensi Turbin dapat dihitung dengan rumus:

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{\text{energi kalor 1 kWh}}{\text{heat rate turbin}} \times 100\% \quad (2)$$

Di mana:

η_{turbin} : Efisiensi Turbin (%)

Energi Kalor dalam 1 kWh: 3600 kJ (karena 1 kWh setara dengan 3600 kJ)

Heat Rate Turbin : Heat Rate Turbin (kJ/kWh)

Metode Heat Rate Turbin

Metode Heat Rate adalah salah satu pendekatan yang sering digunakan untuk mengukur efisiensi konversi energi dalam turbin uap. Perhitungan Heat Rate Turbin dilakukan dengan menghitung selisih entalpi dari uap yang masuk dan keluar dari turbin, serta membandingkannya dengan output daya listrik yang dihasilkan oleh generator. Rumus dasar yang digunakan adalah:

$$\text{THR} = \frac{M \times (h_1 - h_2)}{\text{gross output}} \quad (3)$$

Di mana THR adalah Heat Rate Turbin, \dot{m}_1 adalah laju aliran massa fluida, h_1 adalah entalpi uap keluar dari boiler, h_2 adalah entalpi air yang kembali ke boiler, dan Gross Output adalah output daya generator. Penelitian sebelumnya yang menggunakan metode Heat Rate Turbin juga menunjukkan bahwa variabel seperti suhu uap, tekanan uap, dan laju aliran massa sangat mempengaruhi hasil Heat Rate. Dengan memahami pengaruh dari variabel-variabel ini, pengelola PLTU dapat membuat keputusan yang lebih baik mengenai operasi dan pemeliharaan turbin untuk mencapai efisiensi maksimal..

Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

PLTU Labuhan Angin merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang terletak di Desa Labuhan Angin, Kabupaten Tapanuli Tengah, Sumatera Utara, sekitar 20 km sebelah barat dari Kota Sibolga. PLTU ini memiliki dua unit dengan kapasitas masing-masing 115 MW, sehingga total kapasitasnya mencapai 230 MW. Lokasinya yang strategis di tepi pantai Teluk Tapian Nauli

memungkinkan akses yang mudah ke sumber air laut, yang dibutuhkan dalam jumlah besar untuk berbagai proses, seperti pendinginan dan produksi uap



Gambar 5 Peta PLTU Labuhan Angin



Gambar 3.2 PLTU Labuhan Angin

PLTU Labuhan Angin memainkan peran penting dalam memenuhi kebutuhan listrik di wilayah Sumatera Utara dan sekitarnya. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTU ini disalurkan melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV ke Gardu Induk Sibolga. Selain itu, PLTU ini juga berkontribusi dalam penghematan biaya operasional melalui penggunaan batubara sebagai bahan bakar utama, yang lebih ekonomis dibandingkan dengan bahan bakar lain seperti HSD (High-Speed Diesel).

Diagram alir

Pada penelitian tentang analisis performansi turbin uap dengan kapasitas 115 mw dan putaran 3000 rpm pada unit 1 PLTU Labuhan Angin sibolga terdapat pada gambar Berikut:



Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian

Hasil

Data Tes Performansi

Berikut adalah data performance test yang diambil melalui data Central Control Room (CCR) yang dicatat melalui logsheet Boiler dan Logsheets Turbin Unit 1 PLTU Labuhan Angin pada tanggal 01-Mei-2024 sampai dengan tanggal 10-Mei-2024.

Tabel 4.1 Data Tes Performansi

Data /tanggal	Load (MW)	m (T/h)	P _o (MPa)	T _o (°C)	P _{fw} (Mpa)	T _{fw} (°C)
1	81,8	321,8	6,8	505,3	16,33	194
2	81,7	322,9	6,8	516,3	16,30	196
3	80,5	316,6	6,8	501,4	16,21	195
4	83,2	330,3	6,8	506,1	16,44	197
5	81,1	319,1	6,8	503,9	16,30	195
6	81,3	321,5	6,8	505,4	15,90	194
7	82,5	325,3	6,8	506,7	16,42	197
8	81,8	320,7	6,8	503,5	16,10	192
9	82,1	322,5	6,8	505,6	16,33	196
10	81,7	316,8	6,8	510,3	16,35	197

Perhitungan Heat Rate dan Efisiensi Turbin

Data yang diperoleh dari setiap uji kinerja turbin diolah untuk menghitung nilai heat rate turbin dan efisiensi turbin pada setiap titik atau waktu pengambilan data setelah semua data diolah, langkah berikutnya adalah menghitung rata-rata dari seluruh hasil yang telah dikumpulkan. Rata-rata ini kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mengevaluasi performa keseluruhan turbin, sehingga dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai efisiensi dan efektivitas operasi turbin selama periode pengujian.

Evaluasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi peningkatan dan memastikan turbin beroperasi pada tingkat kinerja optimal.

Perhitungan turbin heat rate (THR) dari data performance test pada tanggal 01-Mei-2024, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Load} &= 81,8 \text{ MW} && = 81800 \text{ kW} \\
 \dot{m} &= 321,8 \text{ T/h} && = 89,39 \text{ kg/s} \\
 P_o &= 6,8 \text{ Mpa} \\
 T_o &= 505,3 \text{ °C}
 \end{aligned}$$

$$P_{fw} = 16,33 \text{ Mpa}$$

$$T_{fw} = 194 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Dari perhitungan enthalpy didapat data sebagai berikut: $h_1 = 3426,3993 \text{ kJ/kg}$

$h_2 = 832,2953 \text{ kJ/kg}$ maka,

$$\text{THR} = \frac{M \times (h_1 - h_2)}{\text{gross output}}$$

$$\text{THR} = \frac{89,39 \text{ kg/s} \times (3426,3993 \text{ kJ/kg} - 832,2953 \text{ kJ/kg})}{81800 \text{ kW}}$$

$$\text{THR} = 2,834 \text{ kJ/kWh}$$

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan THR

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
THR	2,834	2,867	2,818	2,847	2,834	2,85	2,83	2,83	2,82	2,80

Perhitungan efisiensi turbin dari data performance test pada tanggal 01- Mei-2024, sebagai berikut :

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{\text{energi kalor 1 kWh}}{\text{heat rate turbin}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{3600 \text{ KJ}}{2,834} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{turbin}} = 35,28 \%$$

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin

data	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\eta_{\text{turbin}} (\%)$	35,28	34,87	35,49	35,12	35,3	35,09	35,31	35,31	35,46	35,71

Pembahasan

Tabel 4.4 Rata-rata THR Dan Efisiensi Turbin

No	Tanggal	THR	η_{turbin} (%)
1	01/05/2024	2,834	35,28
2	02/05/2024	2,867	34,87
3	03/05/2024	2,818	35,49
4	04/05/2024	2,847	35,12
5	05/05/2024	2,834	35,3

6	06/05/2024	2,85	35,09
7	07/05/2024	2,83	35,31
8	08/05/2024	2,83	35,31
9	09/05/2024	2,82	35,46
10	10/05/2024	2,80	35,71
Rata-rata		2,83	35,294

Analisis Turbine Heat Rate (THR) dan Efisiensi Turbin

Selama periode 1 Mei 2024 hingga 10 Mei 2024, hasil perhitungan menunjukkan rata-rata Turbine Heat Rate (THR) sebesar 2,83 kJ/kWh dan rata-rata efisiensi turbin sebesar 35,294%. Nilai ini menunjukkan performa turbin dalam menghasilkan energi listrik dari uap yang tersedia.

3.2.3 Turbine Heat Rate (THR)

THR adalah ukuran seberapa efisien turbin mengubah energi panas dari uap menjadi energi listrik. Nilai THR yang lebih rendah menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi. Dalam hal ini, nilai THR 2,83 kJ/kWh berarti bahwa turbin menghasilkan 1 kWh energi listrik dengan konsumsi energi panas sebesar 2,83 kJ.

3.2.4 Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin menunjukkan seberapa efektif turbin dalam mengubah energi panas menjadi energi mekanik. Efisiensi 35,294% berarti bahwa sekitar 35,3% dari energi panas yang tersedia dalam uap diubah menjadi energi listrik oleh turbin. Untuk turbin uap, efisiensi 35% hingga 37% adalah kisaran yang umum. Dengan nilai efisiensi 35,294%, turbin PLTU Labuhan Angin berada dalam kisaran efisiensi yang baik dan menunjukkan bahwa turbin masih layak untuk dioperasikan.

Kesimpulan

Berdasarkan analisis performa Turbine Heat Rate (THR) dan efisiensi turbin untuk Unit 1 PLTU Labuhan Angin selama periode 1 Mei 2024 hingga 10 Mei 2024, dapat disimpulkan bahwa Turbine Heat Rate (THR) rata-rata adalah 2,83 kJ/kWh, yang menunjukkan efisiensi konversi energi yang baik. Efisiensi Turbin rata-rata sebesar 35,294% berada dalam rentang efisiensi yang diharapkan untuk turbin uap di Indonesia (30%–40%)

Referensi

- [1] H. Nugroho, "Coal as the national energy supplier forward: What are policies to be prepared?," *J. Perenc. Pembang. Indones. J. Dev. Plan.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–13, 2017.
- [2] I. Suriaman and A. Suprayitno, "Analisis Pengaruh Laju Uap terhadap Efisiensi Turbin Uap Condensing pada PLTU PT. XXX," *J. Teknol.*, vol. 12, no. 2, pp. 205–215, 2022.
- [3] R. Rauf, "Pembangkit Energi Listrik: Instalasi dan Prinsip Kerja." Penerbit Kita Menulis, 2024.
- [4] F. Setiawan and A. Melkias, "ANALISIS KINERJA TURBIN UAP UNIT 1 DI CIREBON POWER," *J. Tek. Energi*, vol. 11, no. 1, pp. 7–11, 2022.

- [5] P. F. Wulandari, D. Lutfiananda, K. Sumada, and L. Suprianti, “Unjuk Kerja Dan Efisiensi Turbin Uap dan Generator (TG-65) Pada Pembangkit Listrik Unit Sistem Utilitas Departemen Produksi IIIA PT Petrokimia Gresik,” *Sinergi Polmed J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 67–74, 2023.
- [6] A. N. Sidiq and M. Anwar, “Perbandingan Efisiensi Turbin Uap Kondisi Aktual Berbasis Data Komissioning Sesuai Standard ASME PTC 6,” *Kilat*, vol. 10, no. 1, pp. 190–199, 2021.
- [7] F. CANDRA, “ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI GENERATOR DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 1 DAN 2.” UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG, 2023.
- [8] Y. SOFYAN, “OPTIMALISASI MENINGKATKAN KINERJA MESIN INDUK PADA KAPAL MV. BERAU MAS.” SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN JAKARTA, 2022.