

STEAM TURBINE HEAT RATE ANALYSIS BY METHOD PERFORMANCE TESTS ON POWER PLANT IN PT. KSA PALM FACTORY

Alfan Khusnaini¹⁾ ✉, Aspriansyah¹⁾, Agus Harianto¹⁾, Halim Adrianur¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin

Universitas Antakusuma

Iskandar 3, Pangkalan Bun

Kabupaten Kotawaringin Barat, Kalimantan

Tengah, 74112

alfankh74@me.com

aspi_pbun@yahoo.co.id

agus.harianto@utama.ac.id

halimadrianur20@gmail.com

Abstract

This research analyzed the heat rate of a steam turbine in the palm factory of PT. KSA (PT. KSA) using performance testing methods. Steam turbine heat rate is a crucial parameter in power plant efficiency, and optimizing it can lead to significant cost savings. The research methodology conducted performance tests on the steam turbine at KSA's palm factory. The collected data was analyzed to determine the rate of improvement. The efficiency of a steam turbine can be seen from the heat energy input to produce 1 kWh of electricity and the turbine heat rate. Steam turbine efficiency was compared with the fuel energy required for every 1 kWh with the turbine heat rate. The turbine heat rate value was obtained based on the performance test, with the highest value being 51.516 (kJ/kWh) and the lowest being 40.514 (kJ/kWh). For steam turbine efficiency, the highest value was 8.89%, and the lowest value was 6.99%.

Keywords: Performance Test, Turbine Heat Rate, Efficiency, Palm Oil Factory, Steam Turbine

1. PENDAHULUAN

Produksi minyak nabati dan pengembangan lapangan kerja merupakan kontribusi besar yang diberikan oleh industri kelapa sawit kepada perekonomian Indonesia. Salah satu bisnis teratas di sektor ini adalah PT. KSA, yang mengoperasikan salah satu pabrik kelapa sawit terbesar dan paling efektif di daerah tersebut^[1]. Pabrik kelapa sawit ini membutuhkan sumber energi listrik yang besar untuk menjalankan operasinya dalam rangka mendukung proses produksi dan pengolahan. Turbin uap adalah bagian penting dari sistem pembangkit listrik pabrik, membantu mengubah energi panas menjadi energi mekanik yang kemudian digunakan untuk menghasilkan listrik^[2].

Sangat penting untuk memiliki pemahaman menyeluruh tentang kinerja turbin uap untuk menjaga efisiensi pabrik dan meningkatkan penggunaan energi. Laju panas, yang menunjukkan seberapa baik turbin mengubah energi panas menjadi energi listrik, merupakan salah satu faktor terpenting dalam menilai efisiensi turbin uap^[3]. Meningkatkan efektivitas operasional pabrik merupakan tujuan utama PT. KSA untuk meningkatkan daya saing dan keberlanjutan bisnis. Untuk memahami dan memaksimalkan kinerja sistem pembangkit listrik di pabrik kelapa sawit, maka dari itu, menganalisis laju panas turbin uap dengan menggunakan metode uji kinerja merupakan langkah yang relevan dan signifikan^{[4][5][6]}.

Pemeriksaan menyeluruh terhadap analisis laju panas turbin uap di Pabrik Kelapa Sawit PT. KSA akan membantu memperjelas variabel yang mempengaruhi efisiensi energi di sektor kelapa sawit. Selain itu, hasil dari investigasi ini diharapkan dapat memberikan arahan

Corresponding Author:

✉ Alfan Khusnaini

alfankh74@me.com

Received on: 2024-04-27

Revised on: 2024-05-05

Accepted on: 2024-05-09

yang signifikan bagi upaya-upaya yang bertujuan untuk meningkatkan dan menyempurnakan efisiensi operasional di pabrik kelapa sawit dan mendorong keberlanjutan industri secara keseluruhan. Di pabrik kelapa sawit, uji kinerja dilakukan untuk mengukur laju panas turbin uap unit dan menghitung jumlah panas yang dihasilkan dalam kaitannya dengan satu kWh listrik yang dibutuhkan untuk memutar turbin. Dengan membandingkan angka *turbine heat rate* dengan energi kalor satu kWh, efisiensi dapat ditentukan ^[6].

Untuk menjalankan seluruh peralatan produksi pabrik, PT. KSA yang bergerak di bidang pengolahan kelapa sawit menjadi minyak sawit mentah membutuhkan energi listrik yang cukup besar. Oleh karena itu, kebutuhan listrik yang cukup besar untuk proses pengolahan kelapa sawit tidak dapat diperoleh hanya dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Oleh karena itu, setiap pabrik kelapa sawit memiliki pembangkit listrik sendiri, yang dikenal dengan nama PLTU ^[2], yang menggerakkan semua mesin-mesin tersebut. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui efisiensi turbin uap yang digunakan pabrik kelapa sawit. Hasil data yang diperoleh akan diolah berdasarkan analisa uji performa.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan turbin uap dengan type PMT Shinko *Turbine-Curtis Single ST*, Malaysia dengan daya 1800 kW dan *rated speed*nya 5208 rpm, *steam press* 20 bar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Adapun spesifikasi dari turbin dapat ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Turbin Tipe PMT Shinko *Turbine-Curtis Single ST*

Type	PMT Shinko <i>Turbine – Curtis Single ST</i>
Daya	1800 kW
<i>Rated Speed</i>	5208 rpm
<i>Steam Press</i>	20 bar.g
<i>Steam Temperature</i>	<i>Superheated steam 260 C⁰</i>
<i>Exhaust Press</i>	3.3 bar.g
Pabrikan	Malaysia



Gambar 1. Mesin turbin uap PT. KSA

2.1. Pengolahan Data

Data dalam penelitian ini menggunakan data tekanan, temperature, aliran uap dan *feed water* yang dihasilkan dalam waktu bersamaan selama 8 jam dengan selang interval 4 jam.

Pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan persamaan *turbine heat rate* yang ditunjukkan dalam persamaan 1.

$$HR_T = \frac{(m_1 \times h_1) - (m_f \times h_f)}{P_g} \quad (1)$$

dengan HR_T adalah *turbine heat rate* (kJ/kWh), m_1 adalah jumlah aliran uap pada main steam (kg/h), h_1 adalah (enthalpi pada *main steam* (kJ/kg), m_f adalah (jumlah aliran air pada *feed water pump* (kg/h), h_f adalah (enthalpy pada *feed water pump* (kJ/kg), P_g adalah (turbin generator output (kW).

Dalam penelitian ini akan dianalisa efisiensi turbin untuk mengetahui performa turbin yang bekerja. Efisiensi tersebut akan dihitung berdasarkan persamaan 2.

$$\eta \text{ turbin} = \frac{3600}{HR_T} \times 100\% \quad (2)$$

dengan η turbin adalah efisiensi *Turbine Heat Rate* (%).

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Analisa Daya Keluaran Turbin Generator Hari Ke-1

Performa turbin dapat ditinjau dari daya turbin generator yang dihasilkan setiap interval 4 jam. Data performa turbin ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Performa Turbin Hari ke-1

MAIN STEAM					
Waktu	Pressure (bar)	Temperature (°C)	Enthalpy (h ₁) (kJ/kg)	Flow (kg/h) (m ₁)	Turbin generator output (p _g) (kW)
08.00	18.2	233	2867.49	18.600	890
12.00	18.7	230	2865.00	20.000	819
16.00	18.0	233	2868.48	21.400	930
FEED WATER					
Waktu	Pressure (bar)	Temperature (°C)	Enthalpy (h _f) (kJ/kg)	Flow (kg/h) (m _f)	Turbin generator output (p _g) (kW)
08.00	13	149	628.45	20.400	890
12.00	12.3	151	637.02	20.300	819
16.00	13.3	144	606.97	22.200	930

Dalam Tabel 2 pada *main steam* terlihat bahwa daya turbin generator yang dihasilkan. Ketika pengambilan data pertama daya turbin sebesar 890 kW dengan aliran uap sebesar 18.600 kg. Kemudian daya turbin generator mengalami peningkatan jumlah aliran uap pada interval kedua sebesar 20.000 kg/h. Namun daya turbin yang dihasilkan mengalami

penurunan pada interval kedua menjadi sebesar 819 kW. Pada interval ketiga terjadi peningkatan daya turbin generator sebesar 930 kW seiring dengan peningkatan jumlah aliran uap sebesar 22.200 kg/h.

Fenomena peningkatan ini juga terjadi pula pada *Feed Water*. Pengambilan data pertama daya turbin sebesar 890 kW dengan aliran uap sebesar 20.400 kg/h. Pada interval kedua terjadi penurunan daya turbin generator menjadi sebesar 819 kW. Hal ini diikuti pula adanya penurunan aliran uap pada interval kedua sebesar 20.300 kg/h. Interval ketiga terjadi peningkatan daya turbin generator menjadi sebesar 930 kW, demikian juga diikuti peningkatan aliran uap sebesar 22.200 kg/h.

Secara keseluruhan fenomena peningkatan daya turbin generator yang terjadi pada *Main Steam* maupun *Feed Water* dipengaruhi peningkatan tekanan dan jumlah aliran uap. Tekanan dan suhu yang lebih tinggi pada gas setelah meninggalkan turbin generator gas memungkinkan turbin daya menghasilkan lebih banyak daya turbin generator yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan rasio tekanan dalam kompresor meningkat, sehingga menghasilkan lebih banyak kerja dari turbin generator yang dapat meningkatkan *output* daya.

3.2. Analisa Daya Keluaran Turbin Generator Hari Ke-2

Performa turbin dapat ditinjau dari daya turbin generator yang dihasilkan setiap interval 4 jam. Data performa turbin ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Performa Turbin Hari ke-2

<i>MAIN STEAM</i>					
Waktu	Pressure (bar)	Temperature (°C)	Enthalpy (h _i) (kJ/kg)	Flow (Kg/h) (m _i)	Turbin generator output (p _g) (kW)
08.00	18.2	233	2867.49	18.600	890
12.00	18.7	230	2865.00	20.000	819
16.00	18.0	233	2868.48	21.400	930
<i>FEED WATER</i>					
Waktu	Pressure (bar)	Temperature (°C)	Enthalpy (h _r) (kJ/kg)	Flow (Kg/h) (m _r)	Turbin generator output (p _g) (kW)
08.00	13	149	628.45	20.400	890
12.00	12.3	151	637.02	20.300	819
16.00	13.3	144	606.97	22.200	930

Tabel 2 pada *Main Steam* menunjukkan bahwa generator menghasilkan daya turbin sebesar 890 kW dengan aliran uap sebesar 18.600 kg selama pengumpulan data awal. Aliran uap pada interval kedua kemudian meningkat sebesar 20.000 kg/jam. Namun pada interval kedua, daya turbin yang dihasilkan turun menjadi 819 kW. Daya turbin generator meningkat sebesar 930 kW selama interval ketiga, dan aliran uap meningkat sebesar 21.400 kg/h.

Fenomena ini juga terjadi dalam *Feed Water*, turbin generator memiliki data awal jumlah aliran uap sebesar 20.400 kg/h serta daya yang dihasilkan sebesar 890 kW. Daya turbin generator turun menjadi 819 kW pada interval kedua diikuti dengan penurunan aliran uap sebesar 20.300 kg/h. Daya turbin generator meningkat menjadi 930 kW selama interval ketiga serta jumlah aliran uap meningkat menjadi 22.200 kg/h.

Secara umum, kenaikan tekanan dan volume aliran uap berdampak pada fenomena peningkatan daya turbin generator yang terjadi pada *Main Steam* dan *Feed Water* ^[7]. Lebih banyak daya turbin generator yang dapat dihasilkan oleh turbin listrik karena peningkatan tekanan dan temperatur gas saat keluar dari generator turbin gas. Hal ini disebabkan oleh

rasio tekanan kompresor yang meningkat, yang menyebabkan turbin generator bekerja lebih keras dan menghasilkan lebih banyak daya.

3.3. Analisa Daya Keluaran Turbin Generator Hari Ke-3

Performa turbin dapat ditinjau dari daya turbin generator yang dihasilkan setiap interval 4 jam. Data performa turbin ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Performa Turbin Hari ke-3

<i>MAIN STEAM</i>					
Waktu	Pressure (bar)	Temperature(°C)	Enthalpy (h_1) (kJ/kg)	Flow (Kg/h) (m)	Turbin Generator Output (p_g) (kW)
08.00	18.16	233	2867.69	20.200	945
12.00	17	221	2841.92	18.600	899
16.00	18.5	232	2863.35	20.200	903
<i>FEED WATER</i>					
Waktu	Pressure (bar)	Temperature(°C)	Enthalpy (h_f) (kJ/kg)	Flow (Kg/h) (m)	Turbin Generator Output (p_g) (kW)
08.00	15.3	120	504.72	20.900	945
12.00	14.6	153	645.79	19.800	899
16.00	14.6	137	577.07	22.200	903

Dalam tabel 3 pada *Main Steam* terlihat bahwa daya turbin generator yang dihasilkan sebesar 945 kW dengan aliran uap sebesar 20.200 kg/h. Kemudian daya turbin generator mengalami penurunan jumlah aliran uap pada interval kedua sebesar 18.600 kg/h diikuti dengan penurunan daya turbin generator sebesar 899 kW. Pada interval ketiga terjadi peningkatan daya turbin generator sebesar 903 kW seiring dengan peningkatan jumlah aliran uap sebesar 20.200 kh/h.

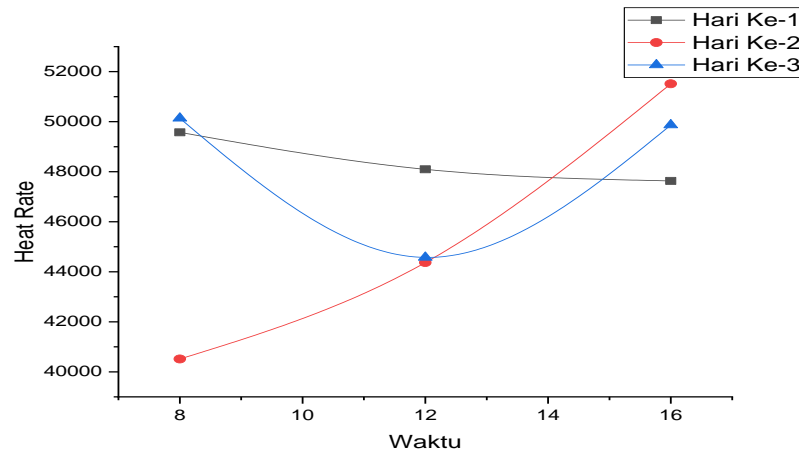
Fenomena peningkatan ini juga terjadi pula pada *Feed Water*. Pengambilan data pertama daya turbin sebesar 945 kW dengan aliran uap sebesar 20.900 kg/h. Pada interval kedua terjadi penurunan daya turbin generator menjadi sebesar 899 kW. Hal ini diikuti pula adanya penurunan aliran uap pada interval kedua sebesar 19.800 kg/h. Interval ketiga terjadi peningkatan daya turbin generator menjadi sebesar 903 kW, demikian juga diikuti peningkatan aliran uap sebesar 22.200 kg/h.

Secara keseluruhan fenomena peningkatan daya turbin generator yang terjadi pada *Main Steam* maupun *Feed Water* dipengaruhi peningkatan tekanan dan jumlah aliran uap [8]. Tekanan dan suhu yang lebih tinggi pada gas setelah meninggalkan turbin generator gas memungkinkan turbin daya menghasilkan lebih banyak daya turbin generator yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan rasio tekanan dalam kompresor meningkat, sehingga menghasilkan lebih banyak kerja dari turbin generator yang dapat meningkatkan output daya [9].

3.4. Analisa Efisiensi Turbin Generator

Turbine Heat Rate terhadap waktu ditunjukkan oleh Gambar 2. Dari Gambar 2 diketahui bahwa hari pertama nilai *Turbine Heat Rate* mengalami kenaikan dari jam 08.00 sebesar

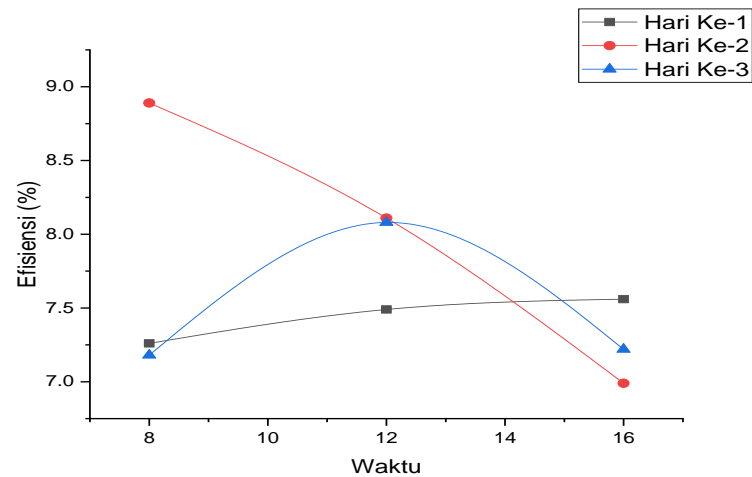
49.573 (kJ/kWh), dan turun pada jam 12.00 sebesar 48.095 (kJ/kWh) pada jam 16.00 selisih sedikit mengalami penurunan lagi sebesar 47.364 (kJ/kWh). Hari kedua pada jam 08.00 *heat rate* dihasilkan sejumlah 40.514 (kJ/kWh), pada jam 12.00 mengalami kenaikan sedikit menjadi 44.368 (kJ/kWh) kemudian mengalami kenaikan pada jam 16.00 sebesar 51.516 (kJ/kWh). Hari ketiga mengalami kenaikan pada jam 08.00 sebesar 50.136 (kJ/kWh) serta penurunan pada jam 12.00 sebesar 44.575 (kJ/kWh) kemudian di jam 16.00 mengalami kenaikan sebesar 49.865 (kJ/kWh).



Gambar 2. Turbine Heat Rate Terhadap Waktu

Kinerja turbin uap dipengaruhi oleh massa dan entalpi dari steam yang digunakan sebagai fluida kerja untuk memutar turbin hal itu dilihat dari sisi energinya ^{[6][10][11]}. Semakin besar energi *input* yang masuk ke dalam turbin maka kinerja turbin akan semakin baik, dan semakin kecil energi *input* yang masuk ke dalam turbin maka kinerja turbin juga semakin kurang ^[12]. Adanya *feed water* juga berpengaruh pada kinerja turbin karena *feed water* sebagai pemanasan air awal air umpan ^[6].

Keseluruhan efisiensi turbin generator selama tiga hari ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Efisiensi Turbine Heat Rate Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 3, efisiensi *turbine heat rate* pada PT. KSA pada jam 08.00 sebesar 7,26%, lalu jam 12.00 naik ke angka 7,49% dan naik lagi pada jam 16.00 sebesar 7,56%. Hari kedua efisiensi naik pada jam 08.00 sebesar 8,89%, jam 12.00 mengalami penurunan sebesar 8,11%, lalu jam 16.00 mengalami penurunan sebesar 6,99%. Hari ketiga yaitu pada jam 08.00 efisiensi naik 7,18% pada jam 12.00 sebesar 8,08% dan turun pada jam 16.00 sebesar 7,22%.

Dari hasil perhitungan dan analisa didapatkan hasil nilai *turbine heat rate* PT. KSA adalah pada hari pertama jam 08.00 sebesar 49.573 (kJ/kWh), jam 12.00 sebesar 48.095 (kJ/kWh), jam 16.00 sebesar 47.634 (kJ/kWh). Hari kedua jam 08.00 sebesar 40.514 (kJ/kWh), jam 12.00 sebesar 44.368 (kJ/kWh), jam 16.00 sebesar 51.516 (kJ/kWh). Hari ketiga jam 08.00 sebesar 50.136 (kJ/kWh), jam 12.00 sebesar 44.575 (kJ/kWh), jam 16.00 sebesar 49.865 kJ/kWh) Nilai *Turbine heat rate* terendah terjadi di hari Kedua pada jam 08.00 sebesar 40.514 (kJ/kWh),. Sedangkan nilai *turbine heat rate* tertinggi terjadi pada hari kedua jam 16.00 yaitu sebesar 51.516 (kJ/kWh).

Nilai efisiensi pada *turbine heat rate* pada PT. KSA. Pada hari pertama jam 08.00 sebesar 7,26%, jam 12.00 sebesar 7,49%, jam 16.00 sebesar 7,56%. Hari kedua pada jam 08.00 sebesar 8,89%, jam 12.00 sebesar 8,11% jam 16.00 sebesar 6,99%. Pada hari ketiga pada jam 08.00 sebesar 7,18%, jam 12.00 sebesar 8,08%, jam 16.00 sebesar 7,22%. Efisiensi pada *turbine heat rate* terendah pada hari kedua jam 16.00 sebesar 6,99% dan tertinggi pada hari kedua jam 08.00 sebesar 8,89%.

Dari hasil pengamatan efisiensi siklus turbin uap berbanding terbalik dengan nilai *turbine heat rate* yang berarti semakin kecil *turbine heat rate* maka efisiensi siklus turbin semakin baik, begitu juga sebaliknya semakin besar *turbine heat rate* maka efisiensi siklus turbin semakin kecil ^{[12] [13][14][15]}.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisa efisiensi turbin uap yang terpasang di pabrik kelapa sawit menggunakan metode uji performa. Dari hasil perhitungan dan analisa dapat diambil kesimpulan bahwa performa turbin generator Tipe PMT Shinko *Turbine-Curtis Single ST* pada PT. KSA memiliki kondisi yang baik. Hal ini bisa dilihat dari efisiensi turbin berada di kisaran rata-rata 7,64% Selain itu, kondisi efisiensi tidak mengalami lonjakan kenaikan atau penurunan efisiensi. Hal ini bisa dilihat dari deviasi efisiensi yang tidak lebih dari 1,9%. Dengan menggunakan metode uji performa ini dapat diketahui nilai efisiensi kinerja turbin uap.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. D. Saputra, R. Yanuardi, and A. Maharani, “*The Role Of The Manufacturing On The Indonesian Economy,*” *Indones. J. Multidiscip. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 157–166, 2023.
- [2] F. Lestari *et al.*, “*Sustainability assessment of palm oil mills effluent utilization for electricity conversion,*” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2023, p. 12038.
- [3] A. S. Karakurt and Ü. Güneş, “*Performance analysis of a steam turbine power plant at part load conditions,*” *J. Therm. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 1121–1128, 2017, doi: 10.18186/thermal.298611.
- [4] K. R. Mahaputra, “*Analisis Kinerja Turbin Uap Unit 3 Berdasarkan Performance Test Di Unit Pelaksana Pt.Pln (Persero) Pembangkitan Asam-Asam,*” *Jtam Rotary*, vol. 3, no. 1, 2021, doi: 10.20527/jtam_rotary.v3i1.3460.

- [5] R. Apriandi and A. Mursadin, "Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan *Performance Test* Pltu Pt. Indocement P-12 Tarjun," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 1, no. 1, 2016, doi: 10.20527/sjmekinematika.v1i1.26.
- [6] R. Arivazhagan, B. Baskar, R. Venkatesh, T. Maridurai, and S. SivaChandran, "Performance analysis of steam generators in thermal power plant," in *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing, 2022.
- [7] B. A. Saputro, B. Sudia, and A. Kadir, "Analisis Pengaruh Perubahan Tekanan Vakum Kondenser Terhadap *Heat Rate* Turbin di PLTGU Moramo Sebelum dan Sesudah Perawatan," *Entalphy, J. Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 18–25, 2022.
- [8] M. P. Boyce, *Gas turbine engineering handbook*. Elsevier, 2011.
- [9] A. Heydari and M. M. Doustdar, "Effects of Compressor Pressure Ratio and Combustion Chamber Exhaust Gases Temperatures on Gas Turbine Cycle Performance," *Int. J. IC Engines Gas Turbines*, vol. 6, no. 1, pp. 1–6, 2020.
- [10] R. A. Putra and R. Nazir, "Power Plant Performance Analysis on Variations of Generator Loading at Ombilin Coal Fired Steam Power Plant Unit 1 (2x100 MW)," *Andalasian Int. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 80–88, 2023.
- [11] D. R. Cornell, "Steam turbine monitoring technology, validation, and verification tests for power plants," in *Advances in Steam Turbines for Modern Power Plants*, Elsevier, 2017, pp. 241–260.
- [12] A. Kamarulzaman, "Steam Turbine Performance Under Variation of Inlet Temperature in a Steam Power Plant." University of Malaya (Malaysia), 2018.
- [13] V. Mrzljak, M. Jelić, I. Poljak, and J. Prpić-Oršić, "Analysis and comparison of main steam turbines from four different thermal power plants," *Pomorstvo*, vol. 37, no. 1, pp. 58–74, 2023.
- [14] H. Dong *et al.*, "On the thermodynamics of the difference between energy transfer rate and heat engine efficiency," *Eur. Phys. J. Spec. Top.*, vol. 230, pp. 867–871, 2021.
- [15] W. Chen, J. Lu, L. G. Chen, W. Cai, Z. Wan, and T. Yan, "Calculation Method of Influence of Relative Efficiency Change of Steam Turbine Cylinder on Heat Loss," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2019, p. 42094.