

## ANALISA EFISIENSI ISENTROPIK TURBIN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP

Ivan Darren Alber, Berkah Fajar Tamtomo Kiono, Udi Harmoko

<sup>1</sup>\*Sekolah Pasca Sarjana, Magister Energi, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>3</sup>Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Indonesia

E-mail: <sup>1</sup>\*ivandarren@students.undip.ac.id, <sup>2</sup>berkahfajar@undip.ac.id,

<sup>3</sup>udiharmoko@fisika.fsm.undip.ac.id

### Abstrak

Spesifikasi turbin uap perlu diperhatikan, terutama spesifikasi isentropic efficiency ( $\eta$ ) dan turbin kerja ( $W_t$ ), menyangkut kemampuan operasional turbin uap di Pembangkit Listrik Tenaga (PLTU) ABC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi isentropik dan kerja turbin, dengan menggunakan parameter data seperti laju aliran massa ( $\dot{m}$ ), tekanan inlet ( $P_1$ ), tekanan outlet ( $P_2$ ), suhu inlet ( $T_1$ ), dan suhu outlet ( $T_2$ ), dengan memanfaatkan aplikasi ChemicalLogic SteamTab. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa efisiensi isentropik yang ditentukan turbin adalah 67,31%, dan kerja turbin adalah 52.438 kW. Nilai rata-rata efisiensi isentropik operasional selama periode penelitian 2 jam ditemukan sebesar 67,74%. Demikian juga nilai rata-rata kerja turbin operasional ditetapkan sebesar 53.487 kW. Diamati bahwa efisiensi isentropik pada kondisi operasional lebih baik daripada nilai yang ditentukan. Peningkatan efisiensi isentropik ini dapat dikaitkan dengan suhu uap utama yang lebih tinggi dan nilai tekanan turbin buang yang lebih rendah.

**Kata Kunci:** PLTU, Efisiensi Isentropik, Kerja Turbin

### Abstract

*The specifications of a steam turbine need to be considered, especially the isentropic efficiency ( $\eta$ ) and turbine work ( $W_t$ ) specifications, concerning the operational capability of the steam turbine at the ABC Power Plant (PLTU). This study aimed to determine the values of isentropic efficiency and turbine work, using data parameters such as mass flow rate ( $\dot{m}$ ), inlet pressure ( $P_1$ ), outlet pressure ( $P_2$ ), inlet temperature*

<b>How to cite:</b>	Ivan Darren Alber, Berkah Fajar Tamtomo Kiono, Udi Harmoko (2022) Analisa Efisiensi Isentropik Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap, (7) 09. Doi: 10.36418/syntax-literate.v7i9.13532
<b>E-ISSN:</b>	2548-1398
<b>Published by:</b>	Ridwan Institute

*(T1), and outlet temperature (T2), utilizing the ChemicalLogic SteamTab application. The research results revealed that the specified isentropic efficiency of the turbine is 67.31%, and the turbine work is 52,438 kW. The average value of the operational isentropic efficiency during the 2-hour research period was found to be 67.74%. Likewise, the average value of the operational turbine work was determined to be 53,487 kW. It was observed that the isentropic efficiency at operational conditions was better than the specified value. This improvement in isentropic efficiency can be attributed to higher main steam temperature and lower exhaust turbine pressure values.*

**Keyword** : *PLTU, Isentropic Efficiency, Turbine Work*

## **Pendahuluan**

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan jenis pembangkit tenaga listrik yang menggunakan uap panas bertekanan tinggi untuk menggerakkan turbin uap. Turbin uap tersebut kemudian menghasilkan energi listrik melalui generator yang terhubung. Uap yang digunakan berasal dari perubahan fase air dalam boiler akibat pembakaran batubara sebagai bahan bakar. Batubara dialirkan ke dalam ruang bakar (furnace) untuk pembakaran dalam boiler. Selanjutnya, dalam proses pemanasan boiler, terjadi perubahan fase dari air menjadi uap. Uap tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin dan generator yang terhubung dalam satu poros, menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan kemudian ditransmisikan melalui jaringan interkoneksi dan didistribusikan kepada konsumen. Secara umum, sistem pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari beberapa peralatan utama, termasuk pompa, boiler, turbin, dan kondensor (Yunus A. Cengel, 1989).

PLTU ABC adalah bagian penting dalam infrastruktur pembangkitan energi listrik yang memasok kebutuhan listrik untuk PT PLN (Persero). PLTU ABC memberikan layanan listrik di wilayah Sulawesi dan terhubung dengan jaringan 150 kV. Turbin di PLTU ABC memiliki kapasitas 2x50 MW dengan jenis Steam Turbine - Full Condensing, dan menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utama untuk pembakaran dalam boiler. Peraturan Permen ESDM No. 2 Tahun 2010 menjelaskan tentang rencana pembangunan berbagai pembangkit tenaga listrik yang menggunakan sumber energi terbarukan, batubara, dan gas. PT PLN (Persero) akan membangun sendiri 21 pembangkit, sementara 72 pembangkit lainnya akan dibangun melalui kerjasama dengan pengembang listrik swasta. Peraturan tersebut berlaku dari tanggal 27 Januari 2010 hingga 31 Desember 2014, termasuk dalam rencana percepatan pembangunan 10.000 MW tahap II yang disebutkan dalam Permen ESDM. PLTU ABC merupakan salah satu proyek dalam rencana tersebut.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap menggunakan turbin uap sebagai alat konversi energi potensial uap untuk memutar turbin dan menggerakkan generator dan memiliki nilai spesifikasi berupa efisiensi isentropik yaitu perbandingan kerja ideal terhadap kerja aktual

turbin dan nilai kerja turbin (Yao et al., 2021). Efisiensi isentropik yang tinggi menunjukkan bahwa turbin dapat mentransfer energi fluida kerja menjadi energi kinetik atau mekanik dengan efisien. Namun, dalam kondisi praktis, selalu ada kerugian energi, dan efisiensi isentropik hanya merupakan perkiraan teoretis yang membantu dalam analisis dan perancangan sistem turbin (Usai et al., 2022). Faktor seperti kebocoran, gesekan, dan kerugian energi lainnya tetap mempengaruhi efisiensi keseluruhan turbin (Nag, 2002).

Penelitian ini menghadirkan sejumlah elemen kebaruan dalam konteks pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Pertama, penggunaan aplikasi ChemicalLogic SteamTab untuk mengukur efisiensi isentropik dan kerja turbin membawa inovasi dalam metode pengukuran, menghasilkan hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan pendekatan konvensional. Kedua, analisis mendalam terhadap efisiensi turbin dalam PLTU ABC memberikan pemahaman komprehensif tentang kemampuan turbin dalam mengubah energi uap menjadi energi listrik. Terakhir, penelitian ini menyoroti pengaruh faktor-faktor kerugian energi, seperti kebocoran dan gesekan, yang sering diabaikan dalam pemahaman umum terhadap efisiensi keseluruhan turbin. Dengan demikian, penelitian ini memiliki potensi untuk memberikan kontribusi penting dalam pengembangan dan operasional PLTU serta upaya penghematan energi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi isentropik dan kerja turbin, dengan menggunakan parameter data seperti laju aliran massa ( $\dot{m}$ ), tekanan inlet ( $P_1$ ), tekanan outlet ( $P_2$ ), suhu inlet ( $T_1$ ), dan suhu outlet ( $T_2$ ), dengan memanfaatkan aplikasi ChemicalLogic SteamTab.

Penelitian ini memberikan beberapa manfaat potensial yang dapat diidentifikasi. Pertama, dengan pemahaman yang lebih baik tentang efisiensi turbin dan faktor-faktor yang mempengaruhinya, PT PLN (Persero) dapat mengambil langkah-langkah perbaikan dan optimisasi dalam operasi PLTU ABC, yang pada gilirannya dapat meningkatkan efisiensi produksi energi listrik. Kedua, peningkatan evaluasi efisiensi turbin dapat berkontribusi pada penghematan energi dan bahan bakar, menghasilkan dampak positif dalam mengurangi dampak lingkungan serta biaya operasional. Terakhir, penelitian ini juga memberikan kontribusi berharga dalam literatur ilmiah tentang efisiensi turbin uap dalam konteks PLTU, berpotensi menjadi referensi penting bagi peneliti lain yang tertarik pada topik serupa, membantu memperdalam pemahaman industri tentang teknologi pembangkit listrik tenaga uap.

Hasil penelitian ini memiliki beberapa implikasi yang signifikan. Pertama, dalam konteks perencanaan energi, temuan penelitian ini dapat menjadi panduan penting bagi PT PLN (Persero) dalam menentukan pembangunan PLTU masa depan. Efisiensi turbin yang dipahami dengan lebih baik dapat menjadi faktor utama dalam pemilihan teknologi dan peralatan yang tepat untuk memaksimalkan efisiensi operasional. Kedua, potensi peningkatan efisiensi turbin yang mungkin diungkapkan oleh penelitian ini dapat mendorong tindakan perbaikan dan penggunaan teknologi yang lebih canggih, yang dapat meningkatkan

kinerja PLTU ABC dan PLTU serupa. Terakhir, peningkatan efisiensi energi yang dapat dihasilkan oleh penelitian ini dapat memiliki dampak positif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan dampak lingkungan negatif yang terkait dengan pembakaran batu bara. Dengan demikian, penelitian ini memiliki potensi untuk memberikan wawasan baru, manfaat praktis, dan dampak positif dalam pengembangan dan operasi PLTU, serta pada upaya penghematan energi dan perlindungan lingkungan.

## **Metode Penelitian**

### **Tempat dan Waktu Penelitian**

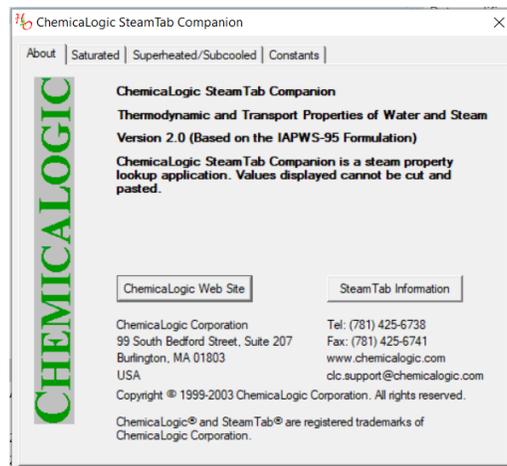
Penelitian ini dilakukan di Unit 2 PLTU ABC yang bertempat di Sulawesi. Data yang dianalisa adalah data dari spesifikasi turbin dan data operasional. Data spesifikasi turbin yang akan dianalisis merupakan data spesifikasi turbin pada Manual Book kondisi Turbine Rate Load (TRL). Data operasional yang akan dianalisis adalah data operasi harian bulan 10 Juni 2023 pada pukul 15:00-17:00 dalam beban 50 MW Netto.

### **Pengumpulan Data**

Metode yang akan dilakukan untuk mengumpulkan data-data yang diperlukan adalah melakukan pendataan spesifikasi turbin dan operasional dengan objek penelitian berupa turbin uap unit 2 jenis 50 MW dengan parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Spesifikasi Turbin Uap yang dibutuhkan bisa di lihat pada gambar 3.1 yaitu; Tekanan 1 (P1), Suhu 1 (T1), Tekanan 2 (P2), Suhu 2 (T2) dan Laju Aliran Massa uap masuk ( $\dot{m}$ ) seperti pada gambar 1.
2. Data Operasional turbin uap yang dibutuhkan bisa di lihat pada gambar 3.2 yaitu; Tekanan 1 (P1), Suhu 1 (T1), Tekanan 2 (P2), Suhu 2 (T2) dan Laju Aliran Massa uap masuk ( $\dot{m}$ ) seperti gambar 1.

Properti yang digunakan untuk menentukan nilai entalpi dan entropi menggunakan aplikasi *SteamTab* dengan cara menginput nilai tekanan dan temperature yang akan dicari. *SteamTab* merupakan aplikasi berbasis windows yang digunakan untuk mengetahui properti suatu fluida dalam kondisi temperatur dan tekanan tertentu, dengan menentukan temperature dan tekanan fluida, maka dapat diketahui nilai-nilai properti fluida tersebut.



Gambar 1. Aplikasi *Steamtab*

## Hasil dan Pembahasan

### Analisa Efisiensi Isentropik Turbin Dan Kerja Turbin dari Spesifikasi

Penelusuran nilai efisiensi isentropik turbin uap dilaksanakan dengan memanfaatkan parameter data spesifikasi turbin yang dinyatakan dalam Tabel 1, mencakup Tekanan awal (P1), Suhu awal (T1), dan tekanan akhir (P2)

**Tabel 1**  
**Spesifikasi Turbin Uap**

Keterangan	Nilai	Satuan
Main Steam Flow	211,2	Ton/h
Speed Turbine	3000	RPM
Main Steam Pressure	8,83	MPa
Main Steam Temperature	535	°C
Exhaust Turbine Pressure	-90,7	kPa

Efisiensi isentropik turbin ditentukan dengan mencari nilai entalpi inlet ( $h_1$ ) terlebih dahulu. Nilai entalpi inlet ( $h_1$ ) dicari dengan menggunakan aplikasi *Chemical Logic SteamTab* dengan menginput data temperatur dan tekanan. Penggunaan aplikasi *steamtab* menunjukkan Nilai entalpi inlet ( $h_1$ ) yang didapatkan dari penggunaan aplikasi ini adalah 3475 kJ/kg dan nilai entropi inlet ( $s_1$ ) yang didapatkan 6,77 kJ/kg.K.

Pencarian Nilai entalpi isentropik berdasarkan spesifikasi dilakukan menggunakan parameter tekanan keluaran turbin dengan nilai -90,7 kPa pada tekanan pengukur. Untuk mendapatkan Tekanan absolut, tekanan pengukur ditambahkan dengan tekanan atmosfer dengan nilai 101,325 kPa sehingga didapatkan tekanan absolut keluaran turbin dengan nilai 10,625 kPa. Yang perlu ditentukan adalah entalpi keadaan cair-jenuh ( $h_f$ ), entalpi penguapan

(hfg), entalpi keadaan uap jenuh (hg), entropi keadaan cair-jenuh (sf), dan entropi keadaan uap jenuh (sg). Diketahui  $T_2$  adalah 42 °C.

$$\begin{aligned} h_{fg} &= 2394,98 \text{ kJ/kg} \\ h_f &= 186,76 \text{ kJ/kg} \\ h_g &= 22581,74 \text{ kJ/kg} \\ s_f &= 0,664 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \\ s_g &= 8,127 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \end{aligned}$$

Nilai entropi yang digunakan untuk pencarian nilai fraksi uap adalah  $s_1 = s_2$  seperti pada persamaan (4)

$$\begin{aligned} x_2 &= \frac{s_2 - s_f}{s_g - s_f} \\ x_2 &= \frac{6,77 - 0,664}{8,127 - 0,664} \\ x_2 &= 0,819 \end{aligned}$$

Entalpi isentropik ( $h_{2s}$ ) tentukan dengan menggunakan persamaan (5)

$$\begin{aligned} h_{2s} &= h_f + x_2 h_{fg} \\ h_{2s} &= 186,76 + (0,819)(2394,98) \\ h_{2s} &= 2147,68 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Efisiensi Isentropik ditentukan menggunakan persamaan (2) dengan parameter entalpi inlet ( $h_1$ ) = 3475 kJ/kg, nilai entalpi outlet ( $h_2$ ) = 2581 kJ/kg dan entalpi isentropik ( $h_{2s}$ ) = 2147 kJ/kg. Hasil dari pencarian ini adalah 67,31%.

$$\begin{aligned} \eta_t &= \frac{(\dot{W}_t/\dot{m})}{(\dot{W}_t/\dot{m})_s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \times 100\% \\ \eta_t &= \frac{3475 \text{ kJ/kg} - 2581 \text{ kJ/kg}}{3475 \text{ kJ/kg} - 2147 \text{ kJ/kg}} \times 100\% \\ \eta_t &= 67,31\% \end{aligned}$$

Kerja turbin uap ditentukan dengan persamaan (6) dan diperlukan parameter berupa laju aliran massa ( $\dot{m}$ ) = 211,2 Ton/jam dikonversikan menjadi 58,67 kg/s, entalpi inlet ( $h_1$ ) = 3475 kJ/kg, nilai entalpi outlet ( $h_2$ ) = 2581 kJ/kg.

$$\begin{aligned} \dot{W}_t &= \dot{m}(h_1 - h_2) \\ &(6) \\ \dot{W}_t &= 52348 \text{ kJ/S} \\ \dot{W}_t &= 52.438 \text{ kW} \end{aligned}$$

### Nilai Spesifikasi

- a. Berdasarkan penelitian ini, didapatkan nilai spesifikasi efisiensi isentropik dengan nilai 67,31%.
- b. Berdasarkan penelitian ini, didapatkan nilai spesifikasi efisiensi isentropik dengan nilai 53283 kW atau 5,328 MW.

### Nilai Operasi

Berdasarkan penelitian ini didapatkan nilai spesifikasi efisiensi isentropik turbin 10 Juni 2023 pada pukul 15:00 hingga 17:00 dengan nilai yang dapat dilihat di tabel 3.

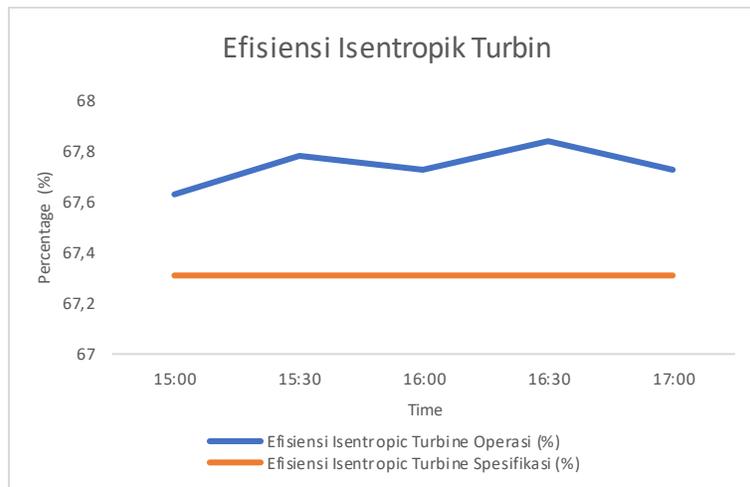
**Tabel 2**  
**Nilai efisiensi isentropik dan kerja turbin keadaan operasi**

Waktu	Efisiensi Isentropic (%)	Turbine Kerja Turbin Aktual (kW)
15:00	67,63	52.296
15:30	67,78	54.136
16:00	67,73	54.051
16:30	67,84	53.714
17:00	67,73	53.238
Nilai Rata rata	67,74	53.487

Dari Tabel 2 maka didapat bahwa rata rata nilai efisiensi isentropic turbin dan kerja aktual turbin 10 Juni 2023 pada pukul 15:00 hingga 17:00 adalah 67,74 % dan 53.487 kW

### Perbandingan Spesifikasi dan Operasi Efisiensi Isentropik Turbin

Nilai Efisiensi Isentropik pada tanggal 10 Juni 2023 pada pukul 15:00 hingga 17:00 berada diatas nilai spesifikasi efisiensi isentropik. Dapat dilihat pada gambar 3.



**Gambar 2.** Perbandingan efisiensi isentropic keadaan operasi dan nilai spesifikasi

Pada Gambar 2 Nilai efisiensi isentropic pada kondisi operasi lebih baik dibandingkan dengan nilai spesifikasi. Salah satu alasan nilai efisiensi isentropic yang lebih tinggi ini dipengaruhi juga oleh temperature main steam. Berikut Perbandingan Main steam spesifikasi dengan main steam pada keadaan operasi

**Tabel 3**  
**Perbandingan main steam operasi dan spesifikasi**

Waktu	Main Steam Operasi (°C)	Main Steam Spesifikasi (°C)
15:00	539	535
15:30	539,9	535
16:00	538,7	535
16:30	539,2	535
17:00	538,9	535

Pada tabel 3 dapat dilihat bahwa keadaan main steam operasi lebih tinggi dibandingkan dengan main steam spesifikasi. Suhu main steam ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas steam dan efisiensi isentropik turbin uap. Semakin tinggi suhu main steam, akan menghasilkan kualitas steam yang lebih tinggi. Uap dengan kualitas yang lebih tinggi memiliki proporsi uap yang lebih besar, sehingga mengandung lebih banyak energi dan dapat menghasilkan lebih banyak kerja ketika melewati turbin uap. Efisiensi isentropik turbin uap juga dipengaruhi oleh suhu main steam. Semakin tinggi suhu main steam, cenderung akan meningkatkan efisiensi isentropik turbin. Hal ini karena semakin tinggi suhu uap, semakin banyak energi panas yang tersedia untuk diubah menjadi energi mekanik dalam turbin. Pada tabel xxx suhu main steam operasi masih tergolong aman pada turbin karena pada manual book turbin suhu operasi pada main steam adalah  $\pm 535$  °C.

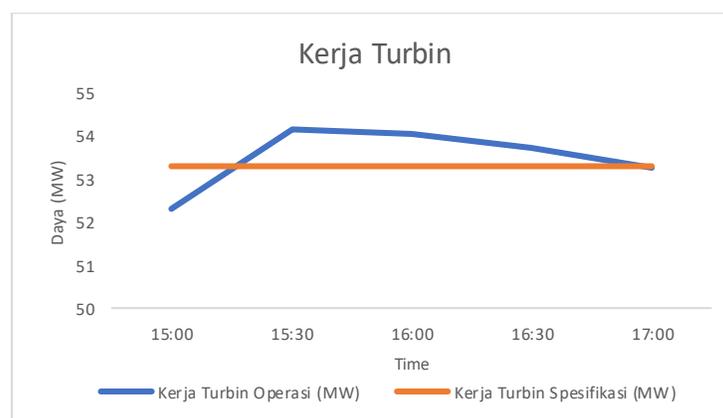
**Tabel 4**  
**Perbandingan exhaust turbine pressure operasi dan spesifikasi**

Waktu	Exhaust Turbine Pressure Operasi (kPa)	Exhaust Turbine Pressure Spesifikasi (kPa)
15:00	-92,16	-90,7
15:30	-91,97	-90,7
16:00	-92,00	-90,7
16:30	-91,97	-90,7
17:00	-92,03	-90,7

Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa keadaan exhaust turbine pressure operasi lebih baik dibandingkan dengan exhaust turbine pressure spesifikasi. Efisiensi isentropik turbin uap sangat dipengaruhi oleh kondisi uap yang keluar dari turbin, termasuk tekanan dan temperatur. Exhaust turbine pressure membantu mengkondensasi uap yang keluar dari turbin menjadi air, sehingga menghilangkan panas dari uap. Proses kondensasi ini menyebabkan penurunan temperatur uap yang keluar dari turbin. Semakin rendah temperatur uap, maka semakin tinggi efisiensi isentropik turbin.

### Kerja Turbin

Berdasarkan penelitian ini, nilai kerja turbin uap selama beroperasi berada di atas spesifikasi turbin uap. Besar kecilnya nilai kerja dari turbin uap dipengaruhi dari laju aliran massa uap masuk turbin. Nilai kerja turbin pada tanggal 10 Juni 2023 setiap jam berada di bawah nilai spesifikasi kerja turbin.



**Gambar 3.** Nilai kerja turbin

### Kesimpulan

Nilai efisiensi isentropic rata rata dalam keadaan operasi pada turbin uap pada PLTU ABC adalah 67,74 %. Besarnya efisiensi mempengaruhi daya yang dihasilkan pada sistem pembangkit listrik, semakin baik efisiensinya maka akan semakin besar daya yang dihasilkan. Dilihat dari hasil penghitungan efisiensi, maka dapat dikatakan bahwa Turbin uap di PLTU ABC dalam keadaan cukup baik karena efisiensi isentropik dari turbin tersebut berada diatas efisiensi isentropic spesifikasi yakni 67,37%

Efisiensi isentropik turbin uap juga dipengaruhi oleh suhu main steam. Semakin tinggi suhu main steam, cenderung akan meningkatkan efisiensi isentropik turbin. Hal ini karena semakin tinggi suhu uap, semakin banyak energi panas yang tersedia untuk diubah menjadi energi mekanik dalam turbin.

Exhaust turbine pressure yang rendah meningkatkan efisiensi isentropic turbin. Exhaust turbine pressure yang rendah membantu mengkondensasi uap yang keluar dari turbin menjadi air, sehingga menghilangkan panas dari uap. Proses kondensasi ini menyebabkan penurunan temperatur uap yang keluar dari turbin. Semakin rendah temperatur uap, maka semakin tinggi efisiensi isentropik turbin.

Berdasarkan penelitian ini, nilai kerja turbin uap selama beroperasi berada di atas spesifikasi turbin uap. Besar kecilnya nilai kerja dari turbin uap dipengaruhi dari laju aliran massa uap masuk turbin.

## BIBLIOGRAFI

- Danial, E. K. R. S. (2019). Analisa Efisiensi Isentropik Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (Pltbn). *Jurnal Teknik Mesin*, *II*(3), 84–91.
- Ibrahim, T. K., & Rahman, M. M. (2015). Effects of isentropic efficiencies on the performance of combined cycle power plants. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, *12*(1), 2914–2928. <https://doi.org/10.15282/ijame.12.2015.9.0244>
- Nag, P. K. (2002). *Power Plant Engineering*. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Usai, V., Cordalunga, C., & Marelli, S. (2022). Experimental evaluation of isentropic efficiency in turbocharger twin-entry turbines. *Journal of Physics: Conference Series*, *2385*(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2385/1/012135>
- Yao, J., Liu, C., Jin, Y., Deng, G., Guan, Y., Hao, J., Huang, H., & Jiang, D. (2021). Comparative analysis and forecasting of isentropic efficiency of gas turbine compressor with ARIMA, VAR, NARNN and ANFIS approaches. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1207*(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1207/1/012013>
- Yohana, E., & Romadhon, R. (2017). Analisa Efisiensi Isentropik dan Exergy Destruction Pada Turbin Uap Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap. *Rotasi*, *19*(3), 134. <https://doi.org/10.14710/rotasi.19.3.134-138>
- Yunus A. Cengel, M. A. B. (1989). *Thermodynamics An Engineering* (5th Edition).

---

**Copyright holder:**

Ivan Darren Alber, Berkah Fajar Tamtomo Kiono, Udi Harmoko (2022)

**First publication right:**

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

**This article is licensed under:**

