

Analisis Efisiensi Turbin Uap Shinco Berdaya 4000 kW Di Pabrik Gula Djombang Baru

^{1*}Royhan Dewantara, ²Sulhan Fauzi

^{1,2} Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹royhand190723@gmail.com, ²sulhanfauzi@unpkediri.ac.id

Penulis Korespondens : Royhan Dewantara

Abstrak—Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja dan efisiensi turbin uap Shinco berkapasitas 4000 kW pada sistem cogeneration di Pabrik Gula Djombang Baru. Metode penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan analisis termodinamika berdasarkan siklus Rankine. Data yang digunakan berupa data operasional rata-rata periode September–November yang meliputi tekanan, temperatur, laju aliran massa uap, dan daya listrik aktual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin beroperasi dengan laju aliran massa uap rata-rata 18,0 kg/s dan menghasilkan daya turbin sebesar 7.907 kW serta daya listrik aktual sebesar 3.800 kW. Efisiensi isentropik rata-rata mencapai 80,0%, efisiensi termal sebesar 7,6%, dan heat rate sebesar 47.039 kJ/kWh. Nilai Energy Utilization Factor (EUF) sebesar 1,80 menunjukkan bahwa sistem cogeneration mampu memanfaatkan energi bahan bakar secara efektif melalui produksi energi listrik dan panas proses secara bersamaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja turbin masih berada dalam kondisi yang baik dan stabil selama periode pengamatan.

Kata Kunci—Turbin Uap, Cogeneration, Efisiensi Isentropik, Heat Rate, Energy Utilization Factor

Abstract— This study aims to analyze the performance and efficiency of a 4000 kW Shinco steam turbine operating in the cogeneration system of PG Djombang Baru. The research employed a quantitative descriptive approach with thermodynamic analysis based on the Rankine cycle. Operational data collected during September–November, including steam pressure, temperature, mass flow rate, and actual electrical power output, were analyzed. The results indicate that the turbine operated at an average steam mass flow rate of 18.0 kg/s, producing an average turbine power of 7,907 kW and an actual electrical output of 3,800 kW. The average isentropic efficiency reached 80.0%, thermal efficiency was 7.6%, and the heat rate was 47,039 kJ/kWh. An Energy Utilization Factor (EUF) of 1.80 demonstrates effective fuel energy utilization through the simultaneous production of electricity and process heat. Overall, the turbine performance remained stable and satisfactory throughout the observation period.

Keywords— Steam Turbine, Cogeneration, Isentropic Efficiency, Heat Rate, Energy Utilization Factor

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Industri gula merupakan salah satu sektor yang memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi biomassa melalui sistem cogeneration. Sistem ini memungkinkan produksi energi listrik dan panas secara simultan dari satu sumber energi primer sehingga mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi dibandingkan sistem pembangkit konvensional [1]. Dalam industri gula, ampas tebu (*bagasse*) yang merupakan limbah hasil pengolahan tebu dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan uap yang digunakan dalam proses produksi sekaligus pembangkitan listrik melalui turbin uap.

Pabrik Gula Djombang Baru telah menerapkan sistem cogeneration dengan menggunakan turbin uap Shinco berkapasitas 4000 kW. Turbin ini beroperasi berdasarkan siklus Rankine dengan mengubah energi panas uap bertekanan tinggi menjadi energi mekanik yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Keberhasilan sistem cogeneration sangat dipengaruhi oleh kinerja turbin uap karena komponen ini berperan langsung dalam proses konversi energi dan menentukan tingkat pemanfaatan energi secara keseluruhan (*Energy Utilization Factor*) [2].

Meskipun memiliki potensi efisiensi yang tinggi, kinerja turbin uap dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor operasional seperti tekanan, temperatur, laju aliran massa uap, serta kondisi peralatan selama operasi. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi terhadap kinerja dan efisiensi turbin uap Shinco berkapasitas 4000 kW di Pabrik Gula Djombang Baru berdasarkan data operasional aktual. Penelitian ini bertujuan menganalisis daya turbin, efisiensi isentropik, efisiensi termal, *heat rate*, dan *Energy Utilization Factor* (EUF) untuk mengetahui tingkat performa sistem cogeneration serta memberikan rekomendasi peningkatan efisiensi energi pada industri gula berbasis biomassa [3].

II. METODE

A. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-analitis dengan metode studi kasus untuk menganalisis kinerja dan efisiensi turbin uap Shinco berkapasitas 4000 kW yang beroperasi dalam sistem *cogeneration* di Pabrik Gula Djombang Baru [4]. Analisis dilakukan berdasarkan data operasional aktual yang diperoleh selama musim giling, meliputi tekanan dan temperatur uap, laju aliran massa uap, serta daya listrik yang dihasilkan turbin [5].

Evaluasi kinerja turbin dilakukan menggunakan pendekatan termodinamika berdasarkan siklus Rankine melalui perhitungan daya turbin, efisiensi isentropik, efisiensi termal, *heat rate*, dan *Energy Utilization Factor* (EUF)[6]. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari catatan operasional pabrik. Metode studi kasus dipilih karena penelitian difokuskan pada satu objek penelitian secara spesifik sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai kondisi operasional aktual turbin uap dan sistem *cogeneration* di Pabrik Gula Djombang Baru.

B. Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilakukan di Pabrik Gula Djombang Baru, Jawa Timur. Objek penelitian adalah turbin uap Shinco berkapasitas 4000 kW yang digunakan dalam sistem cogeneration berbahan bakar bagasse. Parameter yang diamati meliputi tekanan uap, temperatur uap, laju aliran massa uap, daya turbin, efisiensi isentropik, efisiensi termal, *heat rate*, dan *Energy Utilization Factor* (EUF) [7].

C. Instrumen Penelitian

Data penelitian diperoleh dari log sheet operasional turbin yang mencakup tekanan uap, temperatur uap, laju aliran massa uap, dan daya listrik generator [8]. Data kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel dan steam table untuk menentukan parameter termodinamika yang diperlukan dalam analisis kinerja turbin.

D. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data digunakan untuk mengolah data operasional yang diperoleh dari catatan harian (log sheet manual) guna mengevaluasi kinerja turbin uap Shinco berdaya 4000 kW dalam sistem cogeneration di Pabrik Gula Djombang Baru. Analisis dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan pendekatan termodinamika berdasarkan konsep siklus Rankine. Parameter yang dianalisis meliputi daya turbin uap, efisiensi isentropik turbin, efisiensi termal sistem cogeneration, heat rate, serta energy utilization factor (EUF) [9][10].

1. Perhitungan Daya Turbin Uap

$$P_t = \dot{m} \times (h_1 - h_2) \quad (1)$$

Keterangan:

P_t = daya turbin (kW)

$\dot{m}$ = laju aliran massa uap (kg/s)

h_1 = entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

h_2 = entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

2. Perhitungan Efisiensi Isentropik Turbin

$$\eta_{is} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

η_{is} = efisiensi isentropik turbin

h_1 = entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

h_{2s} = entalpi uap keluar turbin kondisi isentropik (kJ/kg)

h_2 = entalpi uap keluar aktual (kJ/kg)

3. Perhitungan Efisiensi Termal Sistem Cogeneration

$$\eta_{th} = \frac{P_l}{\dot{m}(h_{boiler} - h_{feed})} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

P_l = daya listrik yang dihasilkan (kW)

h_{boiler} = entalpi uap keluar boiler (kJ/kg)

h_{feed} = entalpi air umpan (kJ/kg)

4. Perhitungan Heat Rate Turbin

$$HR = \frac{Q_{in}}{P_l} \quad (4)$$

Keterangan:

HR = heat rate (kJ/kWh)

Q_{in} = energi panas masuk (kJ/jam)

P_l = daya listrik (kW)

Semakin kecil heat rate, semakin efisien sistem.

5. Perhitungan Energy Utilization Factor (EUF)

$$EUF = \frac{P_l + Q_{proses}}{Q_{bahan\ akar}} \quad (5)$$

Keterangan:

Q_{proses} = energi panas uap proses (kW)

$Q_{bahan\ akar}$ = energi dari pembakaran bagasse (kW)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Deskripsi Data Penelitian

Tabel 1. Data operasional rata rata per bulan turbin uap selama periode September–November

Parameter	September	Oktober	November
$\dot{m}$ (kg/s)	18	18,2	17,8
h_1 (kJ/kg)	3.210	3.215	3.205
h_2 (kJ/kg)	2.770	2.765	2.775
h_{2s} (kJ/kg)	2.660	2.650	2.670
Daya Turbin (kW)	7.920	8.190	7.612
η_{is} (%)	80	80,9	79,1
P_l (kW)	3.800	3.820	3.780
h Boiler (kJ/kg)	3.210	3.215	3.205
h Feed (kJ/kg)	440	445	450
η_{th} (%)	7,6	7,7	7,5
Q_{in} (kJ/jam)	178.900.000	179.496.000	177.800.000
Heat Rate (kJ/kWh)	47.079	46.990	47.047
Q Proses (kW)	25.200	25.440	25.100
Q Bahan Bakar (kW)	16.100	16.250	16.000
EUF	1,8	1,8	1,8

Tabel 2. Rata-rata Periode September–November

Parameter	Nilai Rata-rata
Laju Aliran Massa Uap ($\dot{m}$)	18,0 kg/s
Daya Turbin	7.907 kW
Efisiensi Isentropik	80,0 %
Daya Listrik Aktual	3.800 kW
Efisiensi Termal	7,6 %
Heat Rate	47.039 kJ/kWh
EUF	1,80

1. Perhitungan Daya Turbin Uap

Diketahui:

$$\begin{aligned}\dot{m} &= 18,5 \text{ kg/s} \\ h_1 &= 3215 \text{ kJ/kg} \\ h_2 &= 2710 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned}P_t &= 18,5 \times (3215 - 2710) \\ P_t &= 18,5 \times 505 \\ P_t &= 9342,5 \text{ kW}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan termodinamika, potensi energi uap yang tersedia sebesar 9.342,5 kW. Namun turbin Shinco memiliki kapasitas terpasang 4.000 kW sehingga daya listrik aktual yang dihasilkan sebesar 3.520 kW. Selisih tersebut menunjukkan adanya batas kapasitas peralatan, rugi-rugi sistem, serta pemanfaatan energi uap untuk kebutuhan proses pada sistem cogeneration. Secara kuantitatif, daya aktual generator sebesar 3.520 kW hanya sekitar:

$$\eta_{total} = \frac{3520}{9342,5} \times 100\% = 37,68\%$$

2. Perhitungan Efisiensi Isentropik Turbin

Diketahui:

$$\begin{aligned}h_1 &= 3215 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ h_2 &= 2710 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ h_{2s} &= 2590 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned}\eta_{is} &= \frac{3215 - 2710}{3215 - 2590} \times 100\% \\ \eta_{is} &= \frac{505}{625} \times 100\% \\ \eta_{is} &= 80,8\%\end{aligned}$$

3. Perhitungan Efisiensi Termal Sistem Cogeneration

Diketahui:

$$\begin{aligned}P_l &= 3520 \text{ kW} \\ \dot{m} &= 18,5 \text{ kg/s} \\ h_{boiler} &= 3215 \text{ kJ/kg} \\ h_{feed} &= 640 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned}\eta_{th} &= \left(\frac{3520}{18,5(3215 - 640)} \right) \times 100\% \\ \eta_{th} &= 7,39\%\end{aligned}$$

4. Perhitungan Heat Rate Turbin

Diketahui:

$$Q_{in} = 171495 \text{ kJ/jam}$$

$$P_l = 3520 \text{ kW}$$

Maka:

$$HR = \frac{171495}{3520}$$

$$HR = 48,72 \text{ kJ/kWh}$$

5. Perhitungan Energy Utilization Factor (EUF)

Diketahui:

$$P_l = 3520 \text{ kW}$$

$$Q_{proses} = 9250 \text{ kW}$$

$$Q_{bahan\ akar} = 14950 \text{ kW}$$

Maka:

$$EUF = \frac{3520 + 9250}{14950}$$

$$EUF = 0,85$$

$$EUF = 85,4\%$$

B. Pembahasan

1. Analisis Kinerja Turbin Uap

Berdasarkan hasil penelitian, turbin uap Shinco berkapasitas 4000 kW masih menunjukkan kinerja yang cukup baik dalam mendukung operasional sistem *cogeneration* di PG Djombang Baru dengan daya generator aktual berkisar antara 3475–3570 kW. Meskipun mampu memenuhi kebutuhan energi listrik selama musim giling dan beroperasi secara relatif stabil, daya yang dihasilkan masih berada di bawah kapasitas desain turbin sebesar 4000 kW. Kondisi ini mengindikasikan adanya penurunan performa yang dipengaruhi oleh faktor operasional dan teknis, seperti fluktuasi tekanan dan temperatur uap, kualitas pembakaran bagasse, serta degradasi komponen turbin akibat penggunaan jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian parameter operasi dan pemeliharaan yang optimal untuk menjaga keandalan serta meningkatkan efisiensi kinerja turbin.

2. Pengaruh Tekanan dan Temperatur Uap terhadap Performa Turbin

Tekanan dan temperatur uap masuk merupakan parameter utama yang memengaruhi kinerja turbin uap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan dan temperatur uap cenderung diikuti oleh kenaikan daya generator yang dihasilkan. Kondisi ini terjadi karena uap dengan tekanan dan temperatur yang lebih tinggi memiliki kandungan energi yang lebih besar sehingga mampu menghasilkan kerja mekanik yang lebih tinggi selama proses ekspansi di dalam turbin. Pada periode pengamatan, daya generator tertinggi sebesar 3570 kW diperoleh saat tekanan uap mencapai 32 bar dan temperatur 388°C. Sebaliknya, penurunan tekanan dan temperatur uap menyebabkan berkurangnya energi ekspansi yang tersedia sehingga daya keluaran turbin ikut menurun. Oleh karena itu, kestabilan tekanan dan temperatur uap perlu dijaga untuk mempertahankan performa turbin dan efisiensi sistem *cogeneration*.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, turbin uap Shinco berkapasitas 4000 kW pada sistem *cogeneration* di PG Djombang Baru masih menunjukkan kinerja yang baik dengan daya generator rata-rata sekitar 3520 kW dan efisiensi isentropik sekitar 88%. Kinerja turbin dipengaruhi oleh tekanan, temperatur, dan laju aliran massa uap, di mana peningkatan kualitas uap masuk cenderung meningkatkan daya yang dihasilkan. Penurunan performa yang terjadi dipengaruhi oleh rugi-rugi mekanik, kebocoran uap, degradasi komponen turbin, serta pemanfaatan sebagian energi uap untuk kebutuhan proses produksi. Secara keseluruhan, sistem *cogeneration* menunjukkan tingkat pemanfaatan energi yang baik, ditunjukkan oleh nilai *Energy Utilization Factor* (EUF) yang tinggi, sehingga mampu mendukung efisiensi energi dan operasional pabrik secara lebih efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing, pihak PG Djombang Baru, serta semua pihak yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. Prayuda and H. Kuncoro, "Analisis Eksergi pada Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Pabrik," vol. 14, no. 01, pp. 155–164, 2025. DOI:[10.24127/trb.v14i1.4087](https://doi.org/10.24127/trb.v14i1.4087)
- [2] M. Jeremiah, B. Kabeyi, and O. A. Olanrewaju, "Performance analysis and electricity potential for Nzoia sugar factory," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 755–764, 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.10.432. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.432>.
- [3] Z. Effendi, I. U. P. Rangkuti, and E. K. Sitanggang, "Analisa Performansi Turbin Uap Kapasitas 1 , 8 MW pada Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 50 Ton / Jam," vol. 13, no. 02, 2024. <https://repository.itsi.ac.id/handle/123456789/348>
- [4] R. Subagyo, "Sistem Pembangkit Dan Turbin Uap HMKB760 Dr.," 2018. https://mesin.ulm.ac.id/assets/dist/bahan/Sistem_Pembangkit_dan_Turbin_Uap.pdf.
- [5] Sugiyono, "metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R & D," 2017. <https://www.researchgate.net/publication/377469385>
- [6] C. Buana, Y. Klistafani, S. Maarif, and A. M. Ilmunandar, "Analisis Kinerja Turbin Uap Sebelum dan Sesudah Overhaul Pada Unit 1 PLTU Mamuju," vol. 22, no. 1, pp. 77–89, 2024. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v22i1.4867>.
- [7] Y. S. T. Sinaga, "Analisis Variasi Suhu Dan Tekanan Pada Boiler Terhadap Penggunaan Air Umpan : Pendeka Tan Metode Optimasi Taguchi Skripsi Oleh : Yesaya Sari Tua Sinaga Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan Analisis Variasi Suhu Dan Tekanan Pada Boiler Terhadap Pen," 2025. <https://repository.uma.ac.id/handle/123456789/28969>
- [8] J. E. Siswanto, A. Hikayat, and Z. Anwar, "Analisa Pengaruh Temperatur Uap Superheated Terhadap Peforma Boiler di PT. Perkebunan Nusantara VI PKS Aur Gading Batanghari Jambi," vol. 2, no. 1, pp. 64–69, 2023. <https://doi.org/10.55331/jutmi.v2i1.6>.
- [9] A. Gunawan And A. Hiendro, "Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Generator Pada Unit 2 Pltu Bengkayang 2x50 Mw PT . Pln Indonesia Power UPK Singkawang," vol. 9, no. 4, pp. 26–39, 2025. DOI:[10.53682/fista.v2i2.139](https://doi.org/10.53682/fista.v2i2.139)
- [10] I. D. Alber, B. F. T. Kiono, and U. Harmoko, "Analisa Efisiensi Isentropik Turbin Pada

Pembangkit Listrik Tenaga Uap,” vol. 7, no. 09, 2022, <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v7i9.13532>.