

ANALISIS PERFORMA TERMAL TURBIN UAP PADA BEBAN PARSIAL (60% DAN 75%) DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP KAPASITAS 100 MW

^{1*}Bantu Hotsan Simanullang, ²Muhammad Rizaldi

¹Program Studi Teknik Mesin, FTI, Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta,
hotsanitbu@gmail.com*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis performa termal turbin uap pada sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) kapasitas 100 MW dengan membandingkan kondisi uji komisioning dan operasi aktual pada beban parsial 60% dan 75%. Metode yang digunakan adalah perhitungan turbin *heat rate* berdasarkan data operasi pada PLTU dan data uji coba awal. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada saat komisioning beban penuh (100%), *heat rate* turbin adalah 2197,89 kcal/kWh. Pada kondisi operasi aktual, *heat rate* meningkat menjadi 2552,61 kcal/kWh pada beban 75% dan 2568,50 kcal/kWh pada beban 60%, atau mengalami kenaikan masing-masing sebesar 16,14% dan 16,86% dibanding kondisi komisioning. Peningkatan *heat rate* tersebut menunjukkan penurunan efisiensi turbin, yang dipengaruhi oleh faktor pemeliharaan, umur pakai komponen, serta kondisi pengoperasian aktual. Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya optimasi pemeliharaan dan pengoperasian turbin uap guna menjaga efisiensi energi di PLTU.

Kata kunci: Turbin uap, *heat rate*, efisiensi termal, beban parsial, pembangkit listrik

I. PENDAHULUAN

Efisiensi turbin uap merupakan faktor kunci dalam kinerja pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Parameter yang paling banyak digunakan untuk mengukur efisiensi turbin adalah *heat rate*, yaitu jumlah energi panas yang diperlukan untuk menghasilkan 1 kWh listrik. Semakin rendah nilai *heat rate*, semakin efisien sistem dalam mengonversi energi panas menjadi energi listrik (Khusnaini et al., 2024).

Namun, efisiensi turbin cenderung menurun seiring berjalannya waktu. Penelitian di beberapa PLTU melaporkan adanya perbedaan signifikan antara performa desain pada saat komisioning dengan performa aktual operasi (Komarudin et al., 2023). Salah satu faktor utama adalah operasi pada *partial load* yang menyebabkan peningkatan *heat rate* dibandingkan operasi penuh (Alfani et al., 2021).

Selain faktor operasional, degradasi material turut memperburuk efisiensi. Uap air bersuhu tinggi dapat mempercepat korosi dan oksidasi komponen turbin (Chen et al., 2021), sementara fenomena korosi dan deposit pada

sirkuit sekunder pembangkit juga berkontribusi pada penurunan performa (Xie & Zhang, 2016).

Untuk mengatasi masalah ini, berbagai pendekatan telah dikembangkan. Konsep *risk-based maintenance* terbukti efektif dalam perencanaan operasi dan pemeliharaan turbin dengan waktu operasi panjang (Tomala & Rusin, 2022). Selain itu, optimasi kinerja berbasis Industri 4.0 menggunakan data operasional mampu meningkatkan efisiensi dan mendeteksi degradasi lebih dini (Ashraf et al., 2020).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini menganalisis perbandingan nilai *heat rate* pada kondisi komisioning (100% beban) dengan operasi aktual pada beban parsial (75% dan 60%). Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi empiris berbasis data aktual untuk mendukung strategi optimasi operasi dan pemeliharaan PLTU.

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada analisis perbandingan *heat rate* antara kondisi komisioning dan operasi aktual pada beban parsial, guna memberikan

gambaran degradasi performa turbin uap dan implikasinya.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada salah satu PLTU dengan kapasitas terpasang 100 MW.

Penelitian menggunakan data operasional turbin uap pada dua kondisi komisioning dimana uji performa turbin pada beban penuh 100%. Serta operasi aktual, dimana kondisi nyata turbin pada beban parsial 75% dan 60%.

Analisis dilakukan dengan menghitung *heat rate* turbin menggunakan persamaan:

$$\text{Heat Rate (kcal/kWh)} = \frac{\text{Heat in} - \text{Heat Out}}{\text{Generator Power Output}} \quad (1)$$

Dimana:

$\text{Heat in} = \text{Energi panas masuk turbin} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right)$

$\text{Heat Out} = \text{Energi panas yang keluar turbin} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right)$

$P_{gg} = \text{Daya listrik yang dihasilkan generator} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{h}} \right)$

Hasil uji komisioning dijadikan acuan sebagai baseline, sehingga perbedaan pada operasi aktual dapat dianalisis sebagai indikasi degradasi performa. Hasil perhitungan dibandingkan untuk mengetahui selisih nilai *heat rate* serta implikasinya terhadap efisiensi turbin.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

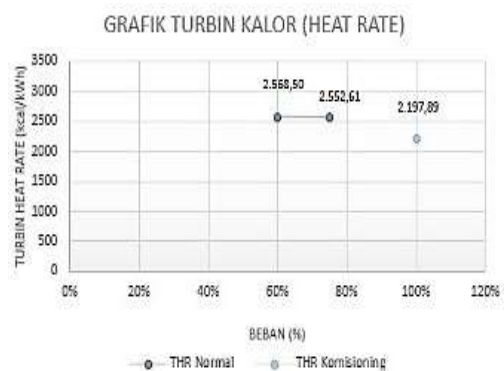
3.1. Hasil Perhitungan Heat Rate

Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan *heat rate* turbin pada kondisi komisioning dan operasi aktual.

Tabel 1 Perbandingan *heat rate* turbin

Kondisi	Beban (%)	Heat Rate (kcal/kWh)	Kenaikan dibanding komisioning (%)
Komisioning	100	2197,89	–
Operasi Aktual	75	2552,61	16,14
Operasi Aktual	60	2568,50	16,86

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 1 Perbandingan *heat rate* turbin pada kondisi komisioning dan operasi aktual.

Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 1 memperlihatkan perbandingan antara nilai *heat rate* turbin dan efisiensinya pada kondisi komisioning serta operasi aktual. Terlihat bahwa *heat rate* turbin pada kondisi operasi aktual lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi saat pengujian awal pada beban maksimum, yang berarti efisiensinya menurun. Pada saat komisioning

dengan beban penuh 100%, nilai *heat rate* tercatat sebesar 2197,89 kcal/kWh. Namun, dalam kondisi operasi normal terjadi peningkatan, yaitu 2552,61 kcal/kWh pada beban 75% dan 2568,50 kcal/kWh pada beban 60%.

Nilai *heat rate* tertinggi (menunjukkan performa terburuk) ditemukan pada beban 60% sebesar 2568,50 kcal/kWh, sedangkan pada beban 75% tercatat *heat rate* 2552,61 kcal/kWh. Sebagai pembandingan, kondisi terbaik tetap ditunjukkan pada saat komisioning dengan beban 100% sebesar 2197,89 kcal/kWh. Peningkatan *heat rate* pada operasi aktual ini menegaskan adanya penurunan kinerja turbin seiring waktu, yang dipengaruhi oleh faktor umur peralatan dan kebutuhan energi panas yang semakin besar untuk menghasilkan setiap 1 kWh listrik.

3.2. Pembahasan

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai *heat rate* pada operasi aktual lebih tinggi dibandingkan kondisi komisioning. Pada beban parsial 75%, terjadi kenaikan sebesar 16,14%, sedangkan pada beban 60% kenaikan lebih tinggi yaitu 16,86%. Kenaikan *heat rate* ini menunjukkan penurunan efisiensi turbin, yang semakin signifikan pada beban parsial. Hasil ini konsisten dengan temuan terdahulu bahwa parsial load meningkatkan konsumsi energi panas per unit listrik (Alfani et al.,

2021). Faktor lain yang berkontribusi adalah degradasi material turbin akibat paparan uap bersuhu tinggi (Chen et al., 2021) dan korosi pada sirkuit sekunder (Xie & Zhang, 2016).

Temuan ini mengindikasikan pentingnya pemeliharaan berkala, pengendalian kualitas uap, serta pengoperasian turbin pada beban optimal untuk menjaga efisiensi energi.

4. KESIMPULAN

Nilai heat rate saat komisioning dengan beban penuh (100%) adalah 2197,89 kcal/kWh yang mencerminkan kondisi operasi ideal turbin. Sedangkan pada operasi aktual, nilai heat rate meningkat menjadi 2552,61 kcal/kWh pada beban 75% dan 2568,50 kcal/kWh pada beban 60%, atau mengalami kenaikan masing-masing 16,14% dan 16,86% dibandingkan kondisi komisioning. Peningkatan heat rate menunjukkan penurunan efisiensi termal turbin, terutama pada beban parsial.

Hasil penelitian ini memberikan implikasi penting bagi strategi pengoperasian PLTU. Pertama, pengaturan beban operasi menjadi faktor krusial, karena turbin terbukti lebih efisien ketika beroperasi mendekati beban penuh dibandingkan pada beban parsial. Oleh sebab itu, distribusi beban antar unit pembangkit perlu dioptimalkan untuk menjaga kinerja sistem. Kedua, peningkatan heat rate yang ditemukan pada kondisi operasi aktual menegaskan perlunya program pemeliharaan preventif yang terencana, sehingga kualitas komponen turbin dan sistem pendukung tetap terjaga.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alfani, D., Astolfi, M., Binotti, M., Silva, P., Size, S., Based, S. C. O., Coal, P., & Plant, P. (2021). *PART LOAD STRATEGY DEFINITION AND PRELIMINAR ANNUAL SIMULATION FOR SMALL SIZE SCO2 BASED PULVERIZED COAL POWER PLANT*.
- Ashraf, W. M., Uddin, G. M., Kamal, A. H., Khan, M. H., Khan, A. A., Ahmad, H. A., Ahmed, F., Hafeez, N., Sami, R. M. Z., Arafat, S. M., Niazi, S. G., Rafique, M. W., Amjad, A., Hussain, J., Jamil, H., Kathia, M. S., & Krzywanski, J. (2020). Optimization of a 660 MWe supercritical power plant performance⇌a case of industry 4.0 in the data-driven operational management. part 2. power generation. *Energies*, 13(21).
<https://doi.org/10.3390/en13215619>
- Chen, K., Seo, D., & Canteenwalla, P. (2021). The effect of high-temperature water vapour on degradation and failure of hot section components of gas turbine engines. *Coatings*, 11(9), 1–26.
<https://doi.org/10.3390/coatings11091061>
- Khusnaini, A., Aspiansyah, A., Harianto, A., & Adrianur, H. (2024). Steam Turbine Heat Rate Analysis By Method Performance Tests on Power Plant in Pt. Ksa Palm Factory. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(1), 525–532.
<https://doi.org/10.21776/jrm.v15i1.1842>
- Komarudin, K., Abrianto, H. H., Multi, A., & Putra Utama, A. (2023). Performance Analysis of Extraction Condensing Turbine - Unit 1 at Pltu X, Bekasi, West Java. *International Journal of Advanced Multidisciplinary*, 2(1), 130–138.
<https://doi.org/10.38035/ijam.v2i1.217>
- Tomala, M., & Rusin, A. (2022). Risk-Based Operation and Maintenance Planning of Steam Turbine with the Long In-Service Time. *Energies*, 15(14).
<https://doi.org/10.3390/en15145019>
- Xie, Y., & Zhang, J. (2016). Corrosion and deposition on the secondary circuit of steam generators. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 53(10), 1455–1466.
<https://doi.org/10.1080/00223131.2016.1152923>