

Pengaruh Beban Puncak dan Beban Minimum Terhadap Kinerja Turbin Gas pada GT 2.2 PLTGU Sengkang

Muh Raehan Muyassar¹, Nur Hamzah² dan Musrady Mulyadi³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*E-mail korespondensi: hamzah_said@poliupg.ac.id

Abstract: *This study aims to analyze the effect of load variations, particularly peak load and minimum load conditions, on the performance of the gas turbine unit GT 2.2 at the Sengkang Combined Cycle Power Plant (Sengkang CCPP). The research method involves calculating the Heat Rate (kcal/kWh) and the thermal efficiency of the gas turbine (η_{GT}) based on field measurement data including key parameters such as fuel gas flow rate, power output (MW), and high heating value (HHV). The results show that gas turbine efficiency increases with higher operating loads. When operating at minimum load, the efficiency tends to be low, ranging from 17–19%, and even drops to 9% under extreme conditions (April 15, 2025). Under peak load conditions, the gas turbine efficiency increases significantly, reaching 34–37%. It can be concluded that the performance of the GT 2.2 gas turbine at PLTGU Sengkang is strongly influenced by load variation.*

Keywords: *Gas turbine, thermal efficiency, peak load, minimum load, Heat Rate, PLTGU Sengkang.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi beban operasi, khususnya beban puncak dan beban minimum, terhadap kinerja turbin gas pada unit GT 2.2 di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Sengkang. Metode yang digunakan meliputi perhitungan *Heat Rate* (kcal/kWh) dan efisiensi termal turbin gas (η_{GT}) berdasarkan data hasil pengukuran lapangan yang mencakup parameter utama seperti laju alir bahan bakar (fuel gas flow), daya keluaran (MW), serta nilai kalor tinggi (HHV). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi turbin gas meningkat seiring dengan kenaikan beban operasi. Saat turbin gas beroperasi pada beban minimum, efisiensi cenderung rendah di kisaran 17 – 19 %, bahkan turun hingga 9 % pada kondisi ekstrem (15 April 2025). Pada kondisi beban puncak, efisiensi turbin gas meningkat signifikan hingga mencapai 34 – 37 %. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kinerja turbin gas GT 2.2 PLTGU Sengkang sangat dipengaruhi oleh variasi beban operasi.

Kata kunci: Turbin gas, efisiensi termal, beban puncak, beban minimum, Heat Rate, PLTGU Sengkang.

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan kebutuhan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan perkembangan sektor industri, urbanisasi, serta pertumbuhan jumlah penduduk. Kondisi ini menuntut ketersediaan sistem pembangkitan listrik yang andal, efisien, dan mampu memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan [1]. Untuk menjawab tantangan tersebut, pemerintah dan perusahaan penyedia energi listrik terus melakukan pengembangan berbagai jenis pembangkit listrik, termasuk pembangkit berbasis energi fosil yang memiliki tingkat efisiensi tinggi serta kemampuan operasional yang fleksibel.

Salah satu jenis pembangkit listrik yang banyak digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) atau *Combined Cycle Power Plant*. Sistem pembangkit ini memanfaatkan dua siklus pembangkitan secara terpadu, yaitu siklus turbin gas dan siklus turbin uap. Gas turbin digunakan untuk menghasilkan energi mekanik sekaligus menghasilkan gas buang bertemperatur tinggi yang kemudian dimanfaatkan oleh Heat Recovery Steam Generator (HRSG) untuk menghasilkan uap yang digunakan pada turbin uap. Kombinasi kedua siklus tersebut mampu meningkatkan efisiensi pembangkit secara signifikan dibandingkan dengan pembangkit siklus tunggal [2], [3].

PLTGU Sengkang yang dioperasikan oleh PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Sengkang merupakan salah satu pembangkit listrik siklus gabungan yang berperan penting dalam menyuplai energi listrik di wilayah Sulawesi Selatan dan sekitarnya. Pembangkit ini memiliki kapasitas terpasang sebesar 315 MW yang terdiri dari beberapa unit turbin gas dan turbin uap. Salah

satu unit utama dalam sistem pembangkitan tersebut adalah Gas Turbin 2.2, yang berfungsi sebagai penggerak utama dalam menghasilkan energi listrik sekaligus sebagai sumber panas bagi sistem HRSG [4].

Dalam operasionalnya, turbin gas bekerja pada berbagai kondisi beban yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan sistem kelistrikan. Variasi beban operasi tersebut dapat berupa beban puncak (peak load) maupun beban minimum (minimum load). Perubahan kondisi beban ini sangat mempengaruhi parameter kinerja turbin gas seperti temperatur gas buang, tekanan ruang bakar, konsumsi bahan bakar, serta efisiensi termal sistem pembangkitan [5]. Oleh karena itu, analisis performa turbin gas pada berbagai kondisi beban menjadi penting untuk memastikan bahwa sistem pembangkit dapat beroperasi secara optimal.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan beban operasi pada turbin gas cenderung meningkatkan tekanan ruang bakar dan temperatur gas buang, sehingga proses pembakaran menjadi lebih optimal dan efisiensi termal turbin meningkat [6]. Sebaliknya, pada kondisi beban rendah, efisiensi turbin gas cenderung menurun karena proses pembakaran tidak berlangsung secara maksimal serta sebagian energi panas terbuang bersama gas buang [7]. Kondisi ini dapat menyebabkan meningkatnya nilai heat rate, yang menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik menjadi lebih besar.

Selain itu, performa turbin gas juga dipengaruhi oleh faktor operasional lainnya seperti kondisi lingkungan, kualitas bahan bakar, serta karakteristik sistem pembakaran. Parameter seperti heat rate, efisiensi termal, serta temperatur gas buang sering digunakan sebagai indikator utama dalam mengevaluasi kinerja turbin gas pada sistem pembangkitan listrik [8]. Analisis terhadap parameter-parameter tersebut dapat memberikan gambaran mengenai tingkat efisiensi pembangkit serta potensi peningkatan performa sistem.

Oleh karena itu, diperlukan kajian yang lebih mendalam mengenai pengaruh variasi beban operasi terhadap kinerja turbin gas, khususnya pada unit pembangkit yang beroperasi secara kontinu seperti PLTGU. Evaluasi performa turbin gas pada kondisi beban puncak dan beban minimum dapat memberikan informasi penting dalam upaya optimasi operasi pembangkit serta pengelolaan konsumsi bahan bakar secara lebih efisien [9].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh beban puncak dan beban minimum terhadap kinerja turbin gas GT 2.2 pada PLTGU Sengkang dengan fokus pada parameter heat rate dan efisiensi termal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik kinerja turbin gas pada berbagai kondisi operasi serta menjadi referensi dalam upaya peningkatan efisiensi sistem pembangkitan listrik berbasis turbin gas [10].

II. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Proses penelitian ini dilaksanakan di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) GT 2.2 PT. PLN Nusantara Power UP Sengkang, yang terletak di Desa Patila, Kecamatan Pammana, Kabupaten Wajo, Sulawesi Selatan. Waktu penelitian berlangsung selama kurang lebih 4 bulan dimulai pada bulan April 2025 hingga bulan September 2025.

B. Data dan Parameter yang Digunakan

Data yang digunakan meliputi:

- Daya keluaran turbin gas (MW)
- Laju alir bahan bakar (m^3/h)
- Nilai kalor tinggi (*Higher Heating Value/HHV*)
- Temperatur gas buang dan tekanan ruang bakar

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan secara manual (Excel) untuk mendapatkan hasil efisiensi termal dan *Heat Rate*.

C. Metode Perhitungan

Perhitungan kinerja dilakukan dengan persamaan:

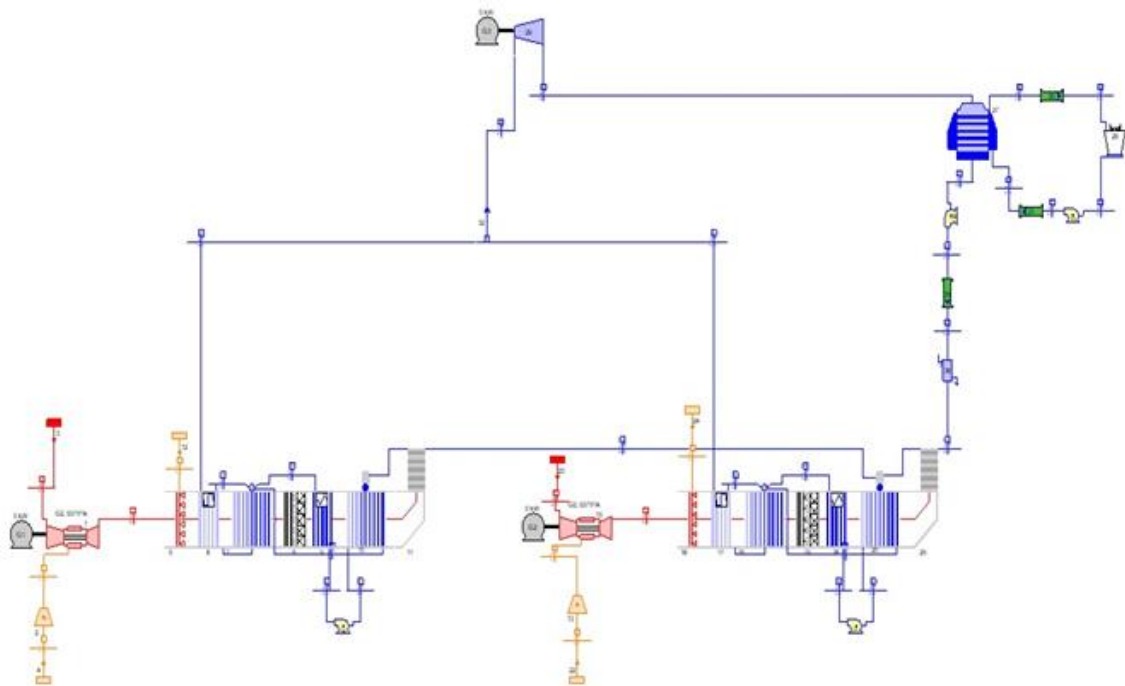
1. Persamaan Perhitungan Efisiensi η_{GT}

$$\eta_{GT} = \frac{860 \text{ kCal}}{GT \text{ Heat Rate } \left(\frac{\text{kCal}}{\text{kWh}}\right)} \times 100\%$$

2. Persamaan Perhitungan $_{GT}$ Heat Rate

$$_{GT} \text{ Heat Rate} = \frac{\text{Fuel gas flow } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \times BJ \text{ CH}_4 \text{ Metana } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times HHV \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) \times 0,239 \text{ Kcal}}{\text{Produksi (MW)}}$$

D. Desain Penelitian



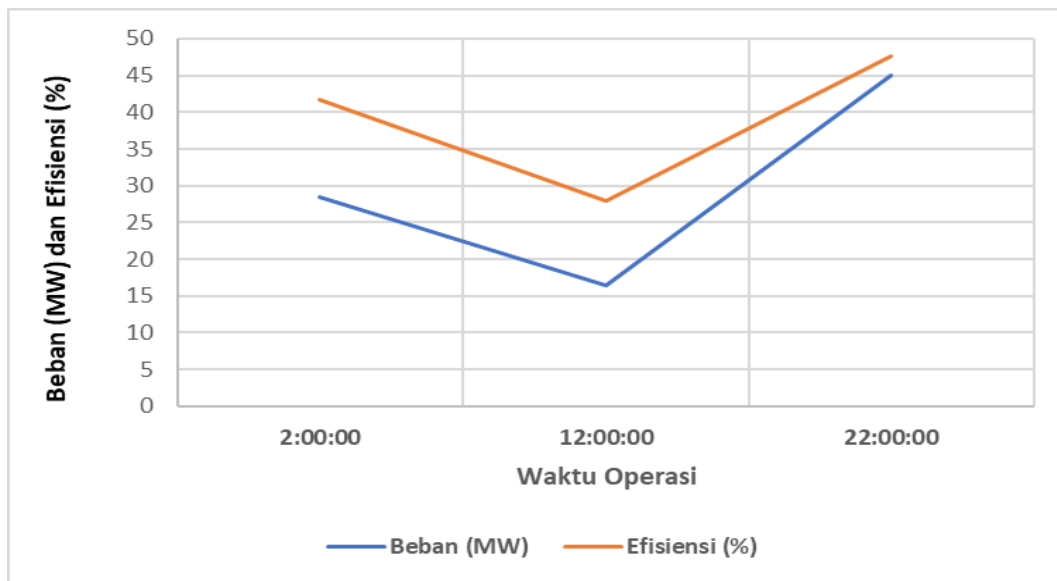
Gambar 2. Desain Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap Combined Cycle (Software Thermoflow)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data aktual operasi GT 2.2, untuk mengetahui hasil perhitungan Heat Rate dan efisiensi turbin gas dengan hasil pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil Perhitungan

Waktu (Wita)	Beban (MW)	Fuel Gas Flow (kg/s)	Heat Rate (kcal/kWh)	η_{GT} (%)
2:00	28.43	6,715.36	2,059.68	41,754.00
12:00	16.44	5,793.41	3,072.09	27,994.00
22:00	45	9,332.32	1,808.36	47,557.00



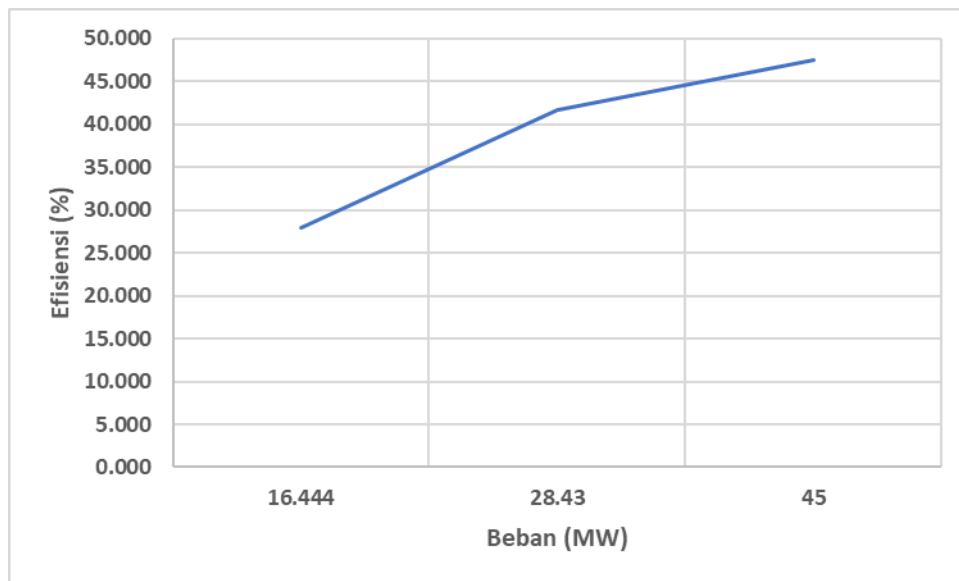
Gambar 3. Grafik Hubungan antara waktu operasi, beban dan efisiensi pada tanggal 5 April jam 02.00, pada tanggal 15 April jam 12.00, pada tanggal 7 Mei 2025 jam 22.00

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara waktu operasi, beban, dan efisiensi turbin gas. Dari grafik terlihat bahwa pada awal operasi (sekitar pukul 02.00), beban turbin gas berada pada nilai sekitar 28 MW dengan efisiensi sekitar 42%. Ketika waktu operasi mencapai tengah hari (pukul 12.00), terjadi penurunan beban hingga sekitar 18 MW dan efisiensi menurun menjadi 30%. Namun, pada malam hari (sekitar pukul 22.00), beban kembali meningkat hingga mencapai 45 MW dan efisiensi naik mendekati 47%.

Pola ini menunjukkan bahwa efisiensi turbin gas berbanding lurus dengan beban operasi. Ketika beban meningkat, efisiensi sistem juga meningkat karena proses pembakaran dalam ruang bakar berlangsung lebih optimal dan rasio tekanan (pressure ratio) pada kompresor dan turbin mendekati kondisi ideal. Sebaliknya, pada beban rendah, efisiensi menurun akibat ketidakseimbangan antara laju aliran udara, bahan bakar, dan energi keluaran, yang menyebabkan kerugian termal lebih besar.

Hubungan ini dapat dijelaskan berdasarkan siklus Brayton, yaitu siklus termodinamika yang menjadi dasar kerja turbin gas. Dalam siklus Brayton, udara dikompresi oleh kompresor (proses isentropik), kemudian dipanaskan di ruang bakar pada tekanan konstan, dan akhirnya diekspansikan di turbin untuk menghasilkan daya. Efisiensi siklus Brayton dipengaruhi oleh rasio tekanan dan temperatur masuk turbin. Pada kondisi beban tinggi, suhu gas buang dan tekanan turbin meningkat, sehingga efisiensi termal siklus juga naik.

Dengan demikian, pada gambar 3 tersebut menggambarkan secara jelas bahwa perubahan beban operasi mempengaruhi kinerja termal turbin gas sesuai prinsip siklus Brayton, di mana efisiensi tertinggi dicapai saat turbin beroperasi pada beban puncak, dan efisiensi menurun pada saat beban minimum akibat penurunan energi input yang tidak diimbangi oleh efisiensi konversi energi panas menjadi energi mekanik.



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Variasi beban terhadap efisiensi

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara variasi beban operasi terhadap efisiensi termal (η_{GT}) turbin gas GT 2.2 di PLTGU Sengkang. Terlihat bahwa peningkatan beban dari 16,44 MW hingga 45 MW menghasilkan kenaikan efisiensi dari sekitar 17% menjadi 30%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi beban operasi, semakin efisien proses konversi energi pada turbin gas.

Fenomena tersebut sejalan dengan konsep siklus Brayton, di mana efisiensi termal sangat bergantung pada rasio tekanan (compression ratio) dan temperatur maksimum hasil pembakaran. Pada beban tinggi, tekanan dan temperatur di ruang bakar meningkat, sehingga ekspansi gas di turbin menghasilkan kerja lebih besar dan kerugian panas berkurang. Sebaliknya, pada beban rendah, aliran massa udara dan bahan bakar menurun, menyebabkan tekanan kompresor dan temperatur gas buang tidak mencapai kondisi ideal, sehingga efisiensi menurun.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa operasi turbin gas pada beban puncak memberikan efisiensi terbaik karena siklus Brayton bekerja mendekati kondisi optimum rasio tekanan dan temperatur pembakaran.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Variasi beban operasi berpengaruh signifikan terhadap efisiensi turbin gas GT 2.2 PLTGU Sengkang.
2. Efisiensi tertinggi diperoleh pada beban puncak 45 MW sebesar 30,39 %, sedangkan pada beban minimum 16,44 MW turun menjadi 17,89 %.
3. Nilai Heat Rate menurun pada beban tinggi sehingga menunjukkan peningkatan efisiensi energi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia*, Jakarta, Indonesia, 2023.
- [2] P. Kehlhofer, F. Hannemann, F. Stirnimann, and B. Rukes, *Combined-Cycle Gas & Steam Turbine Power Plants*, 3rd ed. Tulsa, OK, USA: PennWell, 2009.
- [3] H. Cohen, G. F. C. Rogers, and H. I. H. Saravanamuttoo, *Gas Turbine Theory*, 6th ed. London, U.K.: Pearson Education, 2009.
- [4] PT PLN Nusantara Power, *Profil Unit Pembangkitan Sengkang*, Makassar, Indonesia, 2022.

- [5] A. Boyce, *Gas Turbine Engineering Handbook*, 4th ed. Oxford, U.K.: Elsevier, 2012.
- [6] Nafi, "Analisis kinerja turbin gas berdasarkan variasi beban operasi," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 85–92, 2017.
- [7] Relynaldy, "Pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi turbin gas pada pembangkit listrik," *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, pp. 45–52, 2018.
- [8] S. A. Boyce, *Handbook for Cogeneration and Combined Cycle Power Plants*. New York, NY, USA: ASME Press, 2010.
- [9] T. L. Bergman, F. P. Incropera, D. P. DeWitt, and A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2011.
- [10] J. H. Horlock, *Combined Power Plants: Including Combined Cycle Gas Turbine (CCGT) Plants*. Oxford, U.K.: Pergamon Press, 2013.