

PENGARUH VARIASI BEBAN TERHADAP EFISIENSI KINERJA TURBIN GAS UNIT MEB 2 DI PLTGU PANARAN

Muhammad Khoiruddin Lathif* dan Handri Toar

Politeknik Negeri Batam

*Email: m.khoiruddinlathif89@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received date:

15 March 2023

Received in revised form date:

29 May 2023

Accepted date

1 June 2023

Available online date

13 June 2023

Abstract

The Panaran PLTGU unit operates continuously for 24 hours; as a result, it often experiences load changes that affect the efficiency of the generator. The different efficiency of each workload will have an impact on the comparison of production costs and the amount of production produced. This research was conducted with the aim of observing the effect of load variations on the efficiency of the MEB 2 gas turbine unit at PLTGU Panaran. The data collection technique used is to collect primary data for September 2022 from the Central Control Room. The research method used is simple linear regression analysis. Based on the regression equation $= 0.269052261 + 0.003088346X$, the constant value is 0.269052261. This study found that at a load of ± 23 MW, ± 25 MW, and ± 27 MW, the average thermal efficiency value was 34.15 %, 34.87 %, and 35.30 %, respectively. The effect of load variations on the performance efficiency of gas turbines is that thermal efficiency increases with increasing load.

Keywords: Efficiency, gas turbine, load variation, linear regression.

Kata kunci:

Efisiensi

Turbin Gas

Variasi Beban

Regresi Linear

Abstrak

Unit PLTGU Panaran beroperasi secara terus menerus selama 24 jam, akibatnya sering mengalami perubahan beban dan mempengaruhi efisiensi dari pembangkit. Efisiensi yang berbeda disetiap beban kerja akan berdampak pada perbandingan biaya produksi dan jumlah produksi yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengamati pengaruh variasi beban terhadap efisiensi turbin gas unit MEB 2 di PLTGU Panaran. Teknik pengumpulan data yang digunakan yaitu dengan mengumpulkan data primer bulan September 2022 dari *Central Control Room*. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis regresi linear sederhana. Berdasarkan persamaan regresi $\hat{Y} = 0,269052261 + 0,003088346X$ menunjukkan bahwa nilai konstanta sebesar 0,269052261. Dari penelitian ini didapatkan bahwa pada beban ± 23 MW, ± 25 MW, dan ± 27 MW nilai rata-rata efisiensi termal masing-masing sebesar 34,15 %; 34,87 %; dan 35,30 %. Pengaruh dari variasi beban terhadap efisiensi kinerja turbin gas yaitu efisiensi termal naik dengan bertambahnya beban.

1. PENDAHULUAN

Saat ini energi listrik menjadi kebutuhan pokok yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan masyarakat. Dengan berkembangnya teknologi dan dunia industri, kebutuhan akan listrik semakin meningkat dari waktu ke waktu. Indonesia saat ini melaksanakan program percepatan pembangunan pembangkit listrik sebesar 35.000 MW [1]. Ketersediaan energi listrik yang efisien dengan harga terjangkau merupakan faktor yang penting untuk menunjang ekonomi masyarakat Indonesia. Dengan mendirikan beberapa pembangkit listrik, salah satunya Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) yang berbahan

bakar gas. PLTGU dengan bahan bakar gas kini sedang dikembangkan di berbagai wilayah karena memiliki banyak keuntungan. Selain lebih ramah lingkungan, cadangan sumber daya gas alam di Indonesia masih sangat melimpah [2].

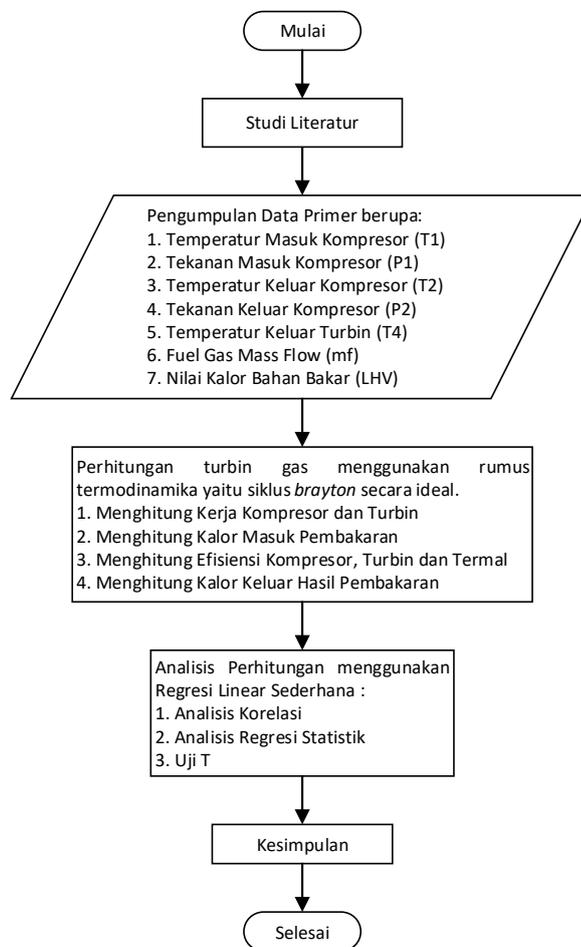
Di Kota Batam telah beroperasi pembangkit listrik jenis *aeroderivative* yaitu PLTGU Panaran. Pembangkit listrik ini menyuplai listrik secara kontinyu 24 jam, oleh karena itu kesiapan PLTGU Panaran sangat diperlukan. PLTGU memiliki respon yang cepat terhadap perubahan beban sesuai dengan permintaan konsumen. Beban dari turbin gas yang berubah setiap waktu mempengaruhi kinerja dari tiap-tiap komponen yaitu kompresor, ruang bakar, dan turbin gas [3].

Seiring dengan beroperasinya pembangkit secara terus menerus, maka tidak menutup kemungkinan bahwa kinerja mesin akan menurun. Menurunnya kinerja mesin akan mempengaruhi daya suplai energi listrik menuju ke jaringan. Demi menjaga pasokan listrik agar tetap efisien, aman, dan handal maka kinerja mesin akan selalu di *monitoring* secara berkala [4].

Berdasarkan buku dengan judul “*Gas Turbine Engineering Handbook 2nd*” disebutkan bahwa idealnya nilai efisiensi sistem pada unit GTG dengan jenis *aeroderivative* berkisar antara 35 – 45% dengan kapasitas beban yang dihasilkan sebesar 2,5 MW hingga 50 MW [5]. Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan analisis mengenai pengaruh variasi beban terhadap efisiensi kinerja turbin gas.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, metode penelitian secara sistematis dapat dijelaskan dalam bentuk diagram alir seperti yang terlihat pada Gambar 1.

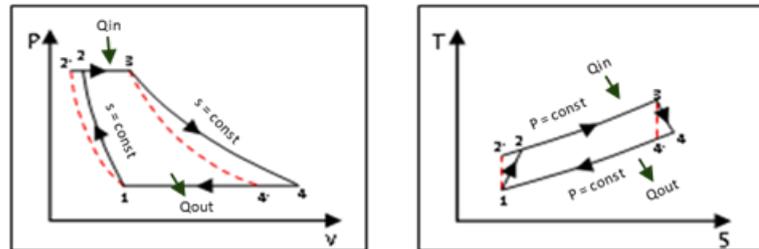


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Proses pengumpulan data pada penelitian ini yaitu mengambil data primer tanggal 1–30 September 2022 dengan jumlah data penelitian 60 variasi beban yang diambil dari *Central Control Room (CCR)*. Perhitungan turbin gas dilakukan menggunakan rumus termodinamika yaitu siklus *brayton* secara ideal.

Pada penelitian ini digunakan metode analisis yaitu regresi linear sederhana yang bertujuan untuk mengetahui hubungan antara variasi beban terhadap efisiensi turbin gas.

Sebelum menganalisis data maka dilakukan terlebih dahulu perhitungan turbin gas menggunakan rumus termodinamika yaitu siklus *brayton* secara ideal yang dapat dilihat pada Gambar 2. Siklus *Brayton* tiap-tiap keadaan [6].



Gambar 2. Siklus *Brayton* pada turbin gas [7]

Siklus *brayton* terdiri dari proses [7]:

Proses 1 → 2s, proses kompresi isentropik di dalam kompresor.

Untuk perhitungan nilai kerja kompresor dengan rumus perhitungan sebagai berikut [7]:

$$\dot{W}_{\text{kompresor}} = \dot{m}_{\text{udara}} \times (h_2 - h_1) \quad (1)$$

dimana $\dot{W}_{\text{kompresor}}$ adalah kerja kompresor aktual (kJ/s), \dot{m}_{udara} adalah laju aliran massa udara (kg/s), h_1 adalah entalpi masuk kompresor (kJ/kg), dan h_2 adalah entalpi udara keluar kompresor (kJ/kg).

Proses 2s → 3, proses pembakaran isobarik.

Untuk perhitungan nilai kalor masuk dengan rumus perhitungan sebagai berikut [7]:

$$Q_{in} = \text{LHV} \times \dot{m}_f \quad (2)$$

dimana Q_{in} adalah kalor masuk (kJ/s), LHV adalah nilai kalor bahan bakar (kJ/kg), dan \dot{m}_f adalah laju aliran massa bahan bakar (kg/s).

Proses 3 → 4s, proses ekspansi adiabatik *reversible* (isentropik).

Untuk perhitungan nilai kerja turbin dengan rumus perhitungan sebagai berikut [7]:

$$\dot{W}_{\text{turbin}} = \dot{m}_{\text{gas}} \times (h_3 - h_4) \quad (3)$$

dimana \dot{W}_{turbin} adalah kerja turbin aktual (kJ/s), \dot{m}_{gas} adalah laju aliran massa gas (kg/s), h_3 adalah entalpi gas hasil pembakaran masuk turbin (kJ/kg), dan h_4 adalah entalpi keluar turbin (kJ/kg).

Proses 4s → 1, proses pembuangan panas tekanan konstan.

Untuk perhitungan nilai kalor keluar dengan rumus perhitungan sebagai berikut [8]:

$$Q_{out} = (\dot{m}_{\text{gas}}) \times (h_4 - h_1) \quad (4)$$

dimana Q_{out} adalah kalor keluar (kJ/s), \dot{m}_{gas} adalah laju aliran massa gas (kg/s), h_1 adalah entalpi masuk kompresor (kJ/kg), dan h_4 adalah entalpi keluar turbin (kJ/kg).

Untuk mencari entalpi, temperatur, dan tekanan relatif menggunakan proses interpolasi dengan rumus perhitungan sebagai berikut [9]:

$$Y = \frac{(X-X_1)(Y_2-Y_1)}{X_2-X_1} + Y_1 \quad (5)$$

dimana Y adalah hasil atau nilai yang dicari, Y_1 adalah nilai entalpi, temperatur, dan tekanan batas bawah, Y_2 adalah nilai entalpi, temperatur, dan tekanan batas atas, X adalah nilai temperatur atau entalpi yang diketahui, X_1 adalah nilai temperatur atau entalpi batas bawah, dan X_2 adalah nilai temperatur atau entalpi batas atas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini merupakan data hasil penelitian pengaruh variasi beban terhadap efisiensi kinerja turbin gas.

Tabel 1. Data hasil perhitungan efisiensi termal

Interval Koefisien	$\bar{X}\eta_{\text{termal}} (\%)$
±23 MW	34,15%
±25 MW	34,87%
±27 MW	35,30%

Selanjutnya dilakukan analisis data dengan metode analisis yaitu regresi linear sederhana yang bertujuan untuk mengetahui hubungan antara variasi beban terhadap efisiensi turbin gas.

3.1. Uji Analisis Regresi Linear Sederhana

Persamaan regresi linear sederhana secara matematik sebagai berikut [10]:

$$\hat{Y} = a + bX \quad (6)$$

dimana \hat{Y} adalah garis regresi atau variable terikat, a adalah konstanta, perpotongan dengan sumbu vertikal, b adalah konstanta regresi (*slope*), dan X adalah variabel bebas.

Adapun tahap-tahap dalam uji analisis regresi linear sebagai berikut [10]:

3.1.1. Koefisien Korelasi (r). Persamaan koefisien korelasi (r) secara matematis sebagai berikut [11]:

$$r = \frac{n \times (\sum XY) - (\sum X) \times (\sum Y)}{\sqrt{(n \times \sum X^2 - (\sum X)^2) \times (n \times \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (7)$$

dimana r adalah koefisien korelasi *pearson product moment*, X adalah variabel bebas, Y adalah variabel terikat, dan n adalah banyaknya data.

Tercantum pada Tabel 2. Interpretasi Koefisien Korelasi nilai (r) [11].

Tabel 2. Interpretasi koefisien korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Cukup
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

3.1.2. Analisis Regresi Statistik. Untuk menentukan nilai *R square* (R^2) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [11]:

$$R^2 = r^2 \times 100\% \quad (8)$$

dimana R^2 adalah nilai *R Square*, dan r adalah koefisien korelasi *pearson product moment*.

Untuk menentukan nilai *multiple R* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [11]:

$$R = (R \text{ Square})^{0.5} \quad (9)$$

dimana R adalah nilai *multiple R*, dan R^2 adalah nilai *R Square*.

Hasil analisis persamaan regresi didapatkan dari *intercept* dan variabel X dapat dituliskan dalam persamaan $Y = a + bX$. Besarnya konstanta a dan b dapat ditentukan menggunakan persamaan matematis sebagai berikut [11]:

$$a = \frac{\sum X^2 \sum Y - (\sum X) \times (\sum XY)}{(n \times \sum X^2 - (\sum X)^2)} \quad (10)$$

$$b = \frac{n \times (\sum XY) - (\sum X) \times (\sum Y)}{(n \times \sum X^2 - (\sum X)^2)} \quad (11)$$

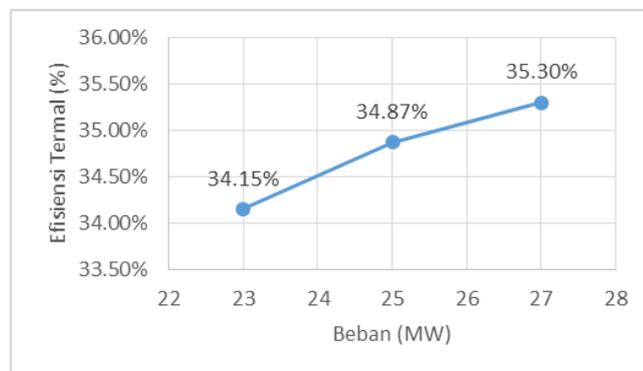
dimana a adalah konstanta, perpotongan dengan sumbu vertikal, b adalah konstanta regresi (*slope*), X adalah variabel bebas, Y adalah garis regresi atau variable terikat, dan n adalah banyaknya data.

3.1.3. Uji T. Untuk menghitung uji T menggunakan persamaan matematis sebagai berikut [11]:

$$t_{\text{hitung}} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (12)$$

dimana t_{hitung} adalah Nilai Uji t_{hitung} , r adalah koefisien korelasi *pearson product moment*, dan n adalah banyaknya data.

Berdasarkan hasil analisis regresi ini didapat grafik variasi beban terhadap efisiensi termal seperti terlihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Grafik *scatter plot* variasi beban terhadap efisiensi termal

Berdasarkan Gambar 3. Grafik *Scatterplot* menjelaskan bahwa jika pengaruh variasi beban tinggi maka efisiensi termal cenderung mengalami kenaikan. Kedua variabel tersebut menunjukkan hubungan searah satu sama lain dan memiliki hubungan yang signifikan.

Berdasarkan analisis korelasi, variasi beban dengan efisiensi termal sebesar 0,92975119. Sehingga kedua variabel tersebut memiliki hubungan yang sangat kuat.

Hasil *Regression Statistics* menggunakan Microsoft Excel nilai *R square* sebesar 0,864437276. Nilai pengaruh antara kedua variabel di kategorikan sangat kuat. Hal tersebut menunjukkan bahwa variasi beban dalam penelitian ini mempengaruhi efisiensi termal turbin gas sebesar 86,44%.

Hasil *Regression Statistics* menggunakan Microsoft Excel menunjukkan bahwa nilai *multiple R* sebesar 0,92975119 maka tingkat keeratan hubungan antara kedua variabel tersebut dikategorikan tinggi karena mendekati nilai 1.

Berdasarkan persamaan regresi $\hat{Y} = 0,269052261 + 0,003088346X$ maka dapat diinterpretasikan hasil penelitian bahwa nilai konstanta sebesar 0,269052261.

Dengan menggunakan tabel uji T untuk signifikan $\alpha = 5\%$, maka diperoleh nilai t_{hitung} sebesar 19,23138651 dan nilai t_{tabel} , sebesar 2,00172. Sehingga nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$, H_0 akan ditolak dan H_1 diterima, maka variasi beban berpengaruh terhadap efisiensi termal turbin gas dengan signifikan 5%.

Dari penelitian ini didapatkan bahwa pada beban ± 23 MW, ± 25 MW, dan ± 27 MW nilai rata-rata efisiensi termal masing-masing sebesar 34,15 %; 34,87 %; dan 35,30 %. Adapun berdasarkan buku dengan judul “*Gas Turbine Engineering Handbook 2nd*” disebutkan bahwa idealnya nilai efisiensi sistem pada unit GTG dengan jenis *aeroderivative* berkisar antara 35 – 45% dengan kapasitas beban yang dihasilkan sebesar 2,5 MW hingga 50 MW [5]. Dari hasil penelitian, dapat diketahui nilai efisiensi termal unit MEB 2 di PLTGU Panaran dikategorikan normal pada beban 27 MW karena tidak melewati batasan minimum rentang nilai ideal dari efisiensi termal.

4. PENUTUP

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan hasil observasi dari perhitungan dan analisis sebagai berikut:

1. Dari penelitian ini didapatkan bahwa pada beban ± 23 MW, ± 25 MW, dan ± 27 MW nilai rata-rata efisiensi termal masing-masing sebesar 34,15 %; 34,87 %; dan 35,30 %. Pengaruh dari variasi beban terhadap efisiensi kinerja turbin gas yaitu efisiensi termal naik dengan bertambahnya beban.
2. Berdasarkan analisis korelasi, variasi beban memiliki hubungan yang sangat kuat terhadap efisiensi turbin gas sebesar 0,92975119. Berdasarkan analisis regresi, tingkat keeratan hubungan antara kedua variabel tersebut dikategorikan sangat tinggi yaitu 0,92975119. Analisis regresi menunjukkan bahwa variasi beban mempengaruhi efisiensi turbin dengan koefisien *R square* sebesar 0,8644 sedangkan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak diteliti. Berdasarkan persamaan regresi $\hat{Y} = 0,269052261 + 0,003088346X$ menunjukkan bahwa nilai konstanta sebesar 0,269052261. Berdasarkan uji signifikan t, variasi beban berpengaruh terhadap efisiensi termal turbin gas dengan signifikan 5 %.
3. Nilai efisiensi termal dikategorikan normal pada beban ± 27 MW sebesar 35,30 % karena tidak melewati batasan minimum rentang nilai ideal dari efisiensi termal.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Kementerian ESDM RI.” <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/pemerintah-menerapkan-syarat-ketat-dalam-menetapkan-investor-program-35000-mw> (accessed Sep. 07, 2022).
- [2] F. L. Firmansyah, “Analisa Perbandingan Performa Turbin Gas PLTGU Unit 1.2 dan 1.3 pada Beban 50 MW Dan 100 MW,” *Tugas Akhir*, pp. 1–86, 2017.
- [3] A. K. Putra and H. Pariaman, “Analisis Energi dan Eksergi Pembangkit Listrik Tenaga Gas-Uap Blok 1 Unit Pembangkitan Gresik,” *J. Power Plant*, vol. 8, no. 1, pp. 30–38, 2020.
- [4] I. Yogaswara, Supari, and Harmini, “Analisis Efisiensi Operasional Sistem Pltgu Unit Gtg 2.3 Di Pt Indonesia Power Semarang Power Generation Unit,” 2020.
- [5] M. P. Boyce and Managing, *Gas Turbine Engineering Handbook*, vol. 134, no. 1, 1990.
- [6] R. Syammary, Hendri, and Lukfianto, “Analisis Efisiensi Turbin Gas Tipe V94.2 Sebelum dan Sesudah Minor Inspection pada Blok 4 Unit 3 PLTGU Muara Tawar,” *Power Plant*, vol. 8, no. 2, p. 11, 2020.
- [7] Y. Zhang, *Book Review: Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, vol. 29, no. 1. 2001.
- [8] F. N. Sakina, H. Nihayah, T. H. Ariwibowo, and L. Diana, “Thermodynamic Analysis Of Recuperative And Reheat Based On Organic Rankine Cycle For High,” vol. 14, no. 1, pp. 331–

- 342, 2023.
- [9] R. J. Al-ihsany, B. Sukoco, and A. A. Nugroho, “Analisa efisiensi turbin generator pada STG PLTGU Blok 1 di PT . Indonesia Power UP Semarang,” *Pros. Konf. Ilm. Mhs. UNISSULA 4*, vol. 4, no. 1, pp. 329–336, 2020.
- [10] D. Muriyatmoko, “Analisa Volume Terhadap Sitasi Menggunakan Regresi Linier Pada Jurnal Bereputasi di Indonesia,” *J. Ilm. Simantec*, vol. 6, no. 3, pp. 129–134, 2018.
- [11] B. Indrawan and R. Kaniawati Dewi, “Pengaruh Net Interest Margin (NIM) Terhadap Return on Asset (ROA) Pada PT Bank Pembangunan Daerah Jawa Barat Dan Banten Tbk Periode 2013-2017,” *J. E-Bis*, vol. 4, no. 1, pp. 78–87, 2020.