CC BY

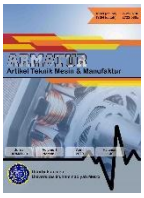
Armatur volume 6 nomor 1 (2025)
ISSN (cetak): 2722-080X, ISSN (online): 2722-0796

Contents list available at Sinta

A R M A T U R

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur



# Analisis Pengaruh Temperatur Udara Masuk Kompresor terhadap Efisiensi Turbin Gas PLTG MPP Parit Baru Unit TM 1 PT PLN Batam

**Fadhil Pratama Putra[1*], Muhammad Ridwan[2]**

[1,2]Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lkr Luar Barat Lantai 2, RT.1/RW.1, Duri Kosambi, Kecamatan Cengkareng, Kota Jakarta Barat, Daerah Khusus Jakarta 11750

*A R T I C L E I N F O*

*Keywords:*
*Air Temperature*
*PLTG MPP*
*Gas Turbine*
*Efficiency*

*A B S T R A C T*

*This study discusses the effect of compressor inlet air temperature on the efficiency of gas turbines at PLTG MPP Parit Baru Pontianak, which is one of the gas power plant units under the management of PT PLN Batam. The electrical energy generated by these plants is essential for various sectors of life, including households, businesses, and industries. This study aims to determine the effect of the variation of compressor inlet air temperature on the efficiency of gas turbines and to find out the comparison of gas turbine efficiency. The research method involves literature studies, direct observations on site, indirect observations through theoretical sources, and interviews with operational staff. This study uses operational data from the Central Control Room (CCR) PLTG MPP Parit Baru Pontianak and focuses on measuring the efficiency of gas turbines at certain times of the day. The results showed that the highest efficiency of gas turbines was recorded at 06.00 with a value of 90,234%, while the lowest efficiency was recorded at 12.00 with a value of 89,929%.*

## Pendahuluan

Di era modern ini, energi listrik menjadi kebutuhan utama manusia, baik untuk rumah tangga, bisnis, maupun industri. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) MPP Parit Baru Pontianak adalah salah satu penyedia energi tersebut, bagian dari program 35.000 MW PLN yang bertujuan menciptakan kedaulatan energi. PLTG ini memiliki 4 unit pembangkit

**Corresponding author*: fadhil2012080@itpln.ac.id
DOI: https://10.24127/armatur.v6i1.7196
Received September 12, 2024; Received in revised form March 17, 2025; Accepted March 19, 2025
Available online March 19, 2025

dengan kapasitas 4x25 MW, menggunakan bahan bakar gas dan HSD (solar), serta dirancang dalam bentuk *mobile power plant* yang dapat dipindahkan sesuai kebutuhan.

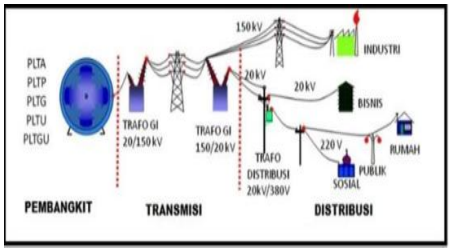
Komponen utama PLTG meliputi kompresor, *combustor*, turbin gas, dan generator, didukung oleh *fuel block, air compressor, Water Treatment Plant* (WTP), dan *Wastewater Treatment Plant* (WWTP). Kompresor berfungsi mengisap udara untuk dikompresi dan mendukung pembakaran di *combustor*. Efisiensi turbin gas dipengaruhi oleh temperatur udara sekitar[1]. Temperatur tinggi dapat menurunkan efisiensi karena densitas udara yang rendah dan laju aliran massa udara melalui kompresor berkurang.

Indonesia, yang berada di iklim tropis dengan suhu rata-rata hingga 35°C dan kelembaban tinggi, mempengaruhi performa PLTG karena suhu panas cenderung menurunkan efisiensinya[2].

## Tinjauan Pustaka

### Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik bermula dari pusat-pusat listrik yang membangkitkan tenaga listrik antara lain yaitu seperti PLTU, PLTG, PLTGU, PLTA dan jenis pembangkit-pembangkit lainnya yang selanjutnya di naikan tegangannya dan di transmisikan dengan menggunakan trafo daya (*step-up*) untuk di transmisikan ke berbagai daerah yang jaraknya sangat jauh, sehingga tidak banyak daya yang hilang (*losses*) pada saluran.[3]




Gambar 1 Sistem Tenaga Listrik
(Sumber: Tanjung, A., Sinurat, H., Eteruddin, H et al, 2022)

### Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) adalah jenis pembangkit listrik yang menggunakan mesin turbin gas untuk menghasilkan daya listrik. Prinsip dasar operasi PLTG terletak pada konversi energi panas yang didapat dari proses pembakaran bahan bakar menjadi energi gerak, yang kemudian dikonversi lagi menjadi energi listrik atau jenis energi lainnya sesuai dengan kebutuhan[4]. PLTG memiliki empat peralatan utama, yakni kompresor, ruang bakar, turbin gas, dan generator, yang memiliki peran krusial dalam proses pembangkitan energi listrik[5].

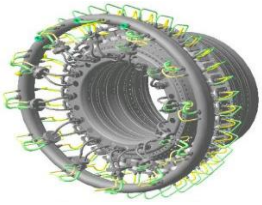
### Kompresor

Kompresor merpakan salah satu peralatan utama PLTG yang berfungsi untuk mengambil udara dari lingkungan sekitar untuk dikompresikan dan dirubah menjadi udara bertekanan tinggi. Dengan demikian, udara tersebut bisa bergerak dengan tetap masuk ke area yang memiliki tekanan tinggi, yakni ruang bakar (*combustor*).

Gambar 2 Kompresor
(Sumber: GE Power, 2016)[6]

### Ruang Bakar (*combustor*)

Ruang bakar menjadi lokasi utama bagi jalannya proses pembakaran, yang melibatkan pencampuran bahan bakar dengan udara yang disuplai oleh kompresor, sebelum kemudian diekspansikan ke turbin. Proses pembakaran terjadi pada tekanan tetap, karena volume ruang bakar yang terbatas.



Gambar 3 *Combustor*
(Sumber: GE Power, 2016)

### Turbin Gas

Turbin merupakan lokasi di mana terjadi proses konversi energi termal yang berasal dari gas panas dalam ruang bakar menjadi energi mekanik (gerak). Desain *blades* (sudu-sudu) stator dan rotor turbin disusun sedemikian rupa agar berperan mirip dengan nozel, sehingga terjadi peralihan energi termal dalam udara menjadi energi kinetik di setiap tahapan sudu.

Gambar 4 *Power Turbine*
(Sumber: GE Power, 2016)

## Generator

Generator merupakan komponen penting dalam PLTG yang berperan sebagai alat untuk menghasilkan energi listrik dari energi mekanik. Tegangan umumnya dihasilkan oleh kumparan-kumparan yang terletak pada stator, sementara medan magnetnya terletak pada rotor yang berputar.

Gambar 5 Generator
(Sumber: GE Power, 2016)

## Klasifikasi Turbin Gas

Menurut (PT.Sumberdaya Sewatama, 2013) Turbin gas terbagi atas dua jenis, yaitu *Frame Type Heavy Duty Gas Turbines (Industrial)* dan *Aircraft-Derivative Gas Turbines / Aeroderivative*.[7]

*Frame Type Heavy Duty Gas Turbines (Industrial)* merupakan turbin gas dengan karakteristik lebih berat dibanding turbin gas *aeroderivative*, pembangunan proyek instalasi lebih kompleks, memiliki *range* kapasitas 3– 480 MW. lebih banyak digunakan di daratan, serta biaya operasional dan pemeliharaan lebih rendah.

Gambar 6 *Turbin Gas Heavy Duty*
(Sumber: PT.SumberdayaSewatama, 2013)

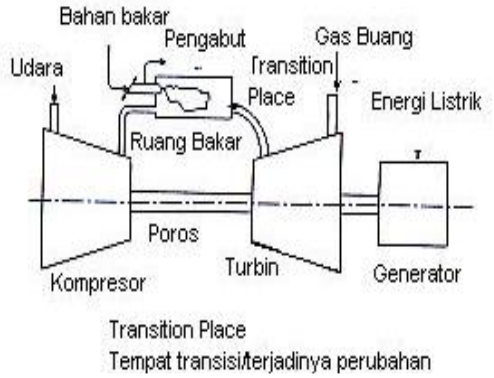
*Aircraft-Derivative Gas Turbines / Aeroderivative* Merupakan turbin gas yang sebenarnya dirancang untuk industri pesawat terbang, tetapi sengaja direkayasa/dimodifikasi untuk pembangkitan listrik. Memiliki karakteristik relatif lebih ringan, pembangunan proyek instalasi dengan waktu lebih cepat, memiliki *range* kapasitas 2,5 sampai dengan 50 MW, lebih banyak digunakan di *platform*, kurang di daratan, serta biaya operasional dan pemeliharaan lebih rendah.

Gambar 7 Turbin Gas *Aeroderivative*
(Sumber: PT.SumberdayaSewatama, 2013)

## Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Singkatnya, cara kerja PLTG adalah pertama-tama dengan mengompresi udara di

dalam kompresor. Selanjutnya, udara ini dialirkan ke ruang pembakaran bersamaan dengan bahan bakar yang disulut. Gas yang mengembang dengan temperatur dan tekanan tinggi selanjutnya dialirkan ke turbin gas. Turbin berputar dikopelkan dengan generator. Sehingga generator ikut bergerak dan akhirnya generator menghasilkan energi listrik[8].



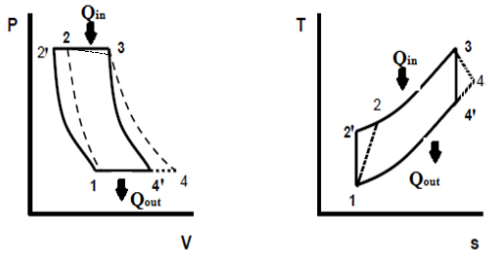

Gambar 8 Prinsip Kerja Unit Pembangkit Turbin Gas
(Sumber: Muslim, 2016)

## Siklus Brayton

Siklus Brayton merupakan model termodinamika ideal yang umumnya diterapkan dalam mesin turbojet atau turbin gas. Siklus ini menjadi fokus penting dalam studi sistem turbin gas, karena mampu beroperasi baik sebagai mesin pembakaran dalam (panas diberikan secara langsung ke fluida) atau luar (panas diberikan melalui penukar kalor), mirip dengan peran siklus Rankine dalam siklus dasar pembangkit tenaga uap[9].

Dalam konteks termodinamika, turbin gas dijelaskan menggunakan prinsip siklus Brayton. Konsep siklus ini penting untuk pemahaman sistem turbin gas dengan siklus terbuka, dimana terdiri atas empat proses utama, yaitu dua proses isobarik dan dua proses isentropik. Proses pertama melibatkan kompresi udara atmosfer dari tekanan awal P1 menuju tekanan akhir P2 oleh kompresor. Udara terkompresi tersebut selanjutnya disalurkan ke ruang bakar, yakni bahan bakar diinjeksikan dan terbakar pada tekanan tetap P2, menghasilkan gas bertemperatur T3. Gas hasil pembakaran tersebut diekspansikan di dalam turbin untuk menghasilkan energi kerja mekanis, dan nantinya dimanfaatkan untuk menggerakkan kompresor dan generator.

Dalam siklus Brayton, udara bergerak melalui berbagai komponen dengan mengabaikan ireversibilitas, dengan tekanan tetap karena udara mengalir dengan tekanan tetap melalui alat penukar kalor. Jika transfer panas ke lingkungan juga diabaikan, maka kompresor dan turbin beroperasi secara isentropik yang sesuai dengan siklus Brayton. Dalam perhitungan siklus Brayton, tabel udara dapat digunakan pada proses 1-2 (kompresi isentropik) dan proses 3-4 (ekspansi isentropik)[10]. Proses siklus ini dapat direpresentasikan pada diagram P-V dan T-S berikut sebagai bentuk visualisasi:




Gambar 9 Diagram P - V dan T - S Siklus Brayton
(Sumber: Muslim, 2016)

Untuk mencari efisiensi kompresor dan efisiensi turbin gas dapat digunakan persamaan sebagai berikut:[11]

$$\eta_{kompresor} = \frac{h_2\prime - h_1}{h_2 - h_1} \times 100\% \qquad (1)$$

$$\eta_{turbin\ gas} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_4\prime} \times 100\% \qquad (2)$$

Keterangan:

$\eta_{kompresor}$ = Efisiensi kompresor (%)

$\eta_{turbin\ gas}$ = Efisiensi turbin gas (%)

$h_1$ = Entalpi udara masuk kompresor (kJ/kg)

$h_2$ = Entalpi udara keluar kompresor (kJ/kg)

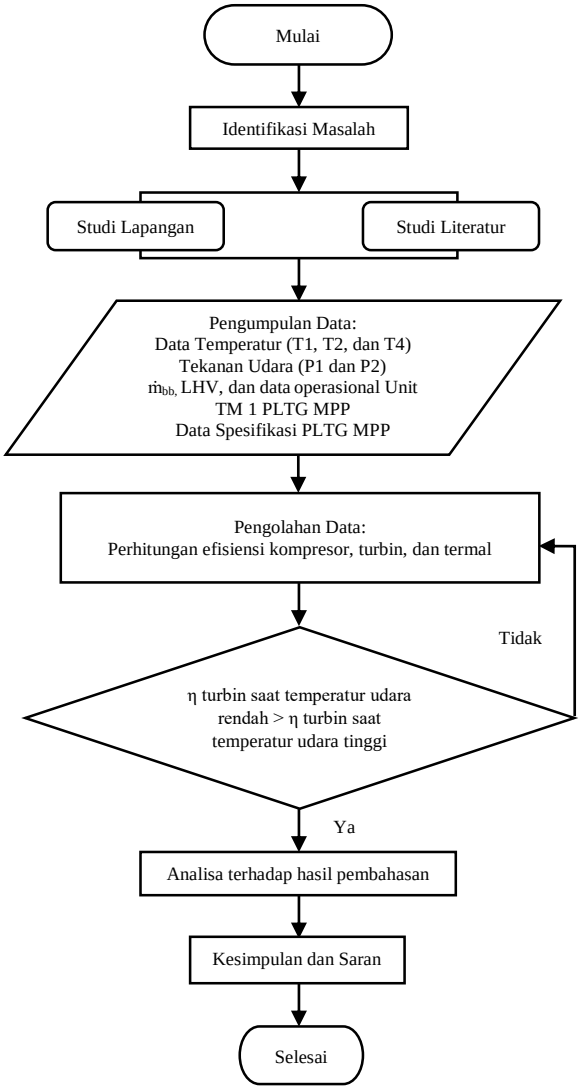
$h_2'$ = Entalpi udara keluar kompresor ideal (kJ/kg)

$h_3$ = Entalpi gas masuk turbin (kJ/s)

$h_4$ = Entalpi udara keluar kompresor (kJ/kg)

$h_4'$ = Entalpi gas keluar turbin ideal (kJ/s)

## Metode Penelitian




Gambar 10 Diagram Alir Penelitian

Metode Penelitian ini dilakukan secara langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Gas *Mobile Power Plant* (PLTG MPP) Parit Baru Unit TM 1 PT PLN Batam, dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur udara masuk kompresor terhadap efisiensi turbin gas dan mengetahui perbandingan efisiensi turbin gas. Pengumpulan data dilakukan dengan metode pengamatan langsung yaitu melakukan pengamatan secara langsung di lokasi penelitian, yaitu di PLTG MPP Parit Baru PT PLN Batam. Data yang akan digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari data CCR (*Central Control Room*). Selain itu, melakukan wawancara langsung kepada pihak terkait yaitu bagian divisi operator dan para pegawai lainnya.

Selain metode pengumpulan data secara langsung, metode tidak langsung juga digunakan, yaitu dengan mengacu pada data dari buku panduan (*manual book*) PLTG MPP. Informasi spesifikasi kompresor dan turbin gas, serta tambahan dari kajian literatur, juga dijadikan referensi dalam analisis.

## Hasil dan Pembahasan

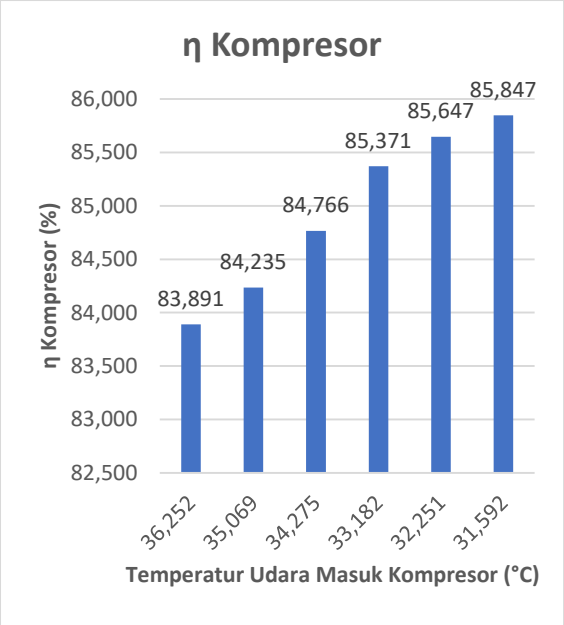
Hasil pengumpulan data didapat dari data operasional yang diperoleh langsung dari bagian CCR (*Central Control Room*). Data yang digunakan adalah data operasional rata-rata tahun 2023 pada pukul 00.00, 06.00, 09.00, 12.00, 17.00, dan 20.00 WIB. Pengambilan pada waktu-waktu tersebut yaitu mewakili dari pagi (pukul 06.00 dan 09.00 WIB), siang (pukul 12.00 dan 17.00 WIB), dan malam (pukul 00.00 dan 20.00 WIB). Beban yang digunakan merupakan beban yang sama yaitu pada beban 25 MW.

Langkah awal yaitu melakukan perhitungan untuk mencari nilai $T_3$, $T_2$', dan $T_4$' dengan menggunakan persamaan interpolasi. Berikutnya, menentukan nilai entalpi masing-masing suhu dengan mengacu pada tabel *ideal-gas properties of air*.

Sehingga dapat dilihat hasil data penelitian berupa rasio tekanan, tekanan relatif, entalpi, massa udara, dan massa bahan bakar pada tabel berikut.

Tabel 1. Parameter Data Awal

| No. | Parameter | Simbol | Satuan | Pukul (WIB) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 00.00 | 06.00 | 09.00 | 12.00 | 17.00 | 20.00 |
| 1 | Temperatur udara masuk kompresor | $T_1$ | °C | 32,251 | 31,592 | 34,275 | 36,252 | 35,069 | 33,182 |
| 1 | Rasio Tekanan | $r_p$ | - | 20,146 | 20,079 | 20,011 | 20,011 | 20,011 | 20,079 |
| 2 | Tekanan Relatif$_4$ | $p_{r_4}$ | - | 81,556 | 79,566 | 86,322 | 93,455 | 89,595 | 83,430 |
| 3 | Tekanan Relatif$_3$ | $p_{r_3}$ | - | 1643,038 | 1597,598 | 1727,372 | 1870,119 | 1792,878 | 1675,183 |
| 4 | Temperatur ruang bakar | $T_3$ | K | 1896,677 | 1884,055 | 1918,368 | 1954,194 | 1934,994 | 1905,123 |
| 5 | Temperatur ideal udara keluar kompresor | $T_2'$ | K | 727,772 | 725,24 | 730,609 | 735,29 | 732,23 | 729,012 |
| 6 | Temperatur ideal udara keluar turbin | $T_4'$ | K | 804,206 | 799,616 | 814,97 | 830,190 | 822,033 | 808,558 |
| 7 | Entalpi udara masuk kompresor | $h_1$ | kJ/kg | 305,623 | 304,960 | 307,655 | 309,639 | 308,452 | 306,558 |
| 8 | Entalpi udara keluar kompresor | $h_2$ | kJ/kg | 813,225 | 808,962 | 821,749 | 832,763 | 827,256 | 816,269 |
| 9 | Entalpi gas masuk turbin | $h_3$ | kJ/kg | 2123,273 | 2107,596 | 2150,287 | 2194,935 | 2171,003 | 2133,783 |
| 10 | Entalpi gas keluar turbin | $h_4$ | kJ/kg | 953,740 | 947,130 | 968,697 | 990,159 | 978,844 | 959,681 |
| 11 | Entalpi ideal udara keluar kompresor | $h_2'$ | kJ/kg | 743,214 | 740,479 | 746,279 | 751,344 | 748,033 | 744,553 |
| 12 | Entalpi ideal gas keluar turbin | $h_4'$ | kJ/kg | 826,583 | 821,53 | 838,44 | 855,240 | 846,227 | 831,376 |
| 14 | Massa udara | $\dot{m}_u$ | kg/s | 61,922 | 62,493 | 61,015 | 59,435 | 60,290 | 61,554 |
| 15 | Massa bahan bakar | $\dot{m}_{bb}$ | kg/s | 2,233 | 2,233 | 2,233 | 2,233 | 2,233 | 2,233 |



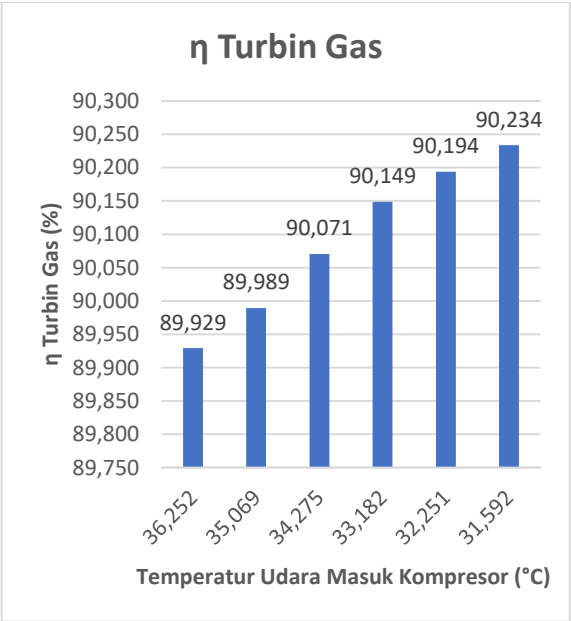

Gambar 11 Grafik Efisisensi Kompresor

$$\eta_{kompresor} = \frac{h_2{}' - h_1}{h_2 - h_1} \times 100\%$$

$$\eta_{kompresor} = \frac{751{,}344 - 309{,}639}{832{,}763 - 309{,}639} \times 100\%$$

$$\eta_{kompresor} = 83{,}891\ \%$$

Perhitungan untuk variasi temperatur udara masuk kompresor lainnya dilakukan dengan menggunakan rumus yang sama dan diketahui hasil perhitungan disajikan pada gambar 11. Dari gambar 11 yang telah diperoleh, dapat terlihat bahwa efisiensi kompresor berbanding terbalik dengan temperatur udara masuk kompresor. Semakin tinggi nilai efisiensi kompresor, maka semakin rendah temperatur udara yang masuk ke kompresor. Hal ini disebabkan karena jika temperatur udara masuk kompresor rendah, maka kerapatan (densitas) udara menjadi padat yang berarti udara tersebut memiliki kadar oksigen lebih banyak dibandingkan dengan udara yang bertemperatur tinggi. Selain itu, laju aliran massa udara juga akan meningkat. Sehingga menyebabkan efisiensi kompresor lebih besar. Pada gambar 11, efisiensi kompresor naik dari 83,891% pada temperatur 36,252°C hingga 85,847% pada temperatur 31,592°C, menunjukkan tren peningkatan efisiensi seiring penurunan suhu.




Gambar 12 Grafik Efisiensi Turbin Gas

$$\eta_{turbin} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_4{}'} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = \frac{2194{,}935 - 990{,}159}{2194{,}935 - 855{,}240} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = 89{,}929\ \%$$

Perhitungan untuk variasi temperatur udara masuk kompresor lainnya dilakukan dengan menggunakan rumus yang sama dan diketahui hasil perhitungan disajikan pada gambar 12. Dari gambar 12 yang telah diperoleh, dapat terlihat bahwa efisiensi turbin gas berbanding terbalik dengan temperatur udara masuk kompresor. Semakin tinggi nilai efisiensi turbin gas, maka semakin rendah temperatur udara yang masuk ke kompresor. Efisiensi turbin gas juga dipengaruhi oleh efisiensi kompresor. Komponen kompresor dan turbin merupakan dua komponen yang saling berhubungan. Udara yang lebih dingin memiliki kepadatan lebih tinggi, sehingga meningkatkan efisiensi kompresor dan keluaran daya turbin. Udara yang lebih panas, sebaliknya, mengurangi efisiensi karena mengurangi massa udara yang masuk ke sistem. Semakin besar efisiensi kompresor maka, otomatis efisiensi turbin gas juga akan semakin besar pula. Pada gambar 12, efisiensi turbin gas naik dari 89,929% pada temperatur 36,252°C hingga

90,234% pada temperatur 31,592°C, menunjukkan tren peningkatan efisiensi seiring penurunan suhu.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi temperatur udara masuk kompresor mempengaruhi efisiensi turbin gas. Semakin besar nilai temperatur udara masuk kompresor, maka semakin kecil nilai efisiensi turbin gas. Nilai efisiensi turbin tertinggi berada pada pukul 06.00 WIB dengan nilai efisiensi turbin 90,234 %. selanjutnya pada pukul 00.00 WIB dengan nilai efisiensi turbin 90,194 %. Kemudian pada pukul 20.00 WIB dengan nilai efisiensi turbin 90,149 %. Lalu pada pukul 09.00 WIB dengan nilai efisiensi turbin 90,071 %. Berikutnya pada pukul 17.00 WIB dengan nilai efisiensi turbin 89,989 %. Dan nilai efisiensi turbin terendah berada pada pukul 12.00 WIB dengan nilai efisiensi turbin 89,929 %.

## Referensi


[1] Kamal, D. M., & Firbarini, N. (2021). Pengaruh Temperatur *Inlet* Kompresor terhadap Kinerja Peralatan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG). *Prosiding Seminar Nasional …*, *November*, 1–6.

[2] Talarosha, B. (2005). Menciptakan Kenyamanan Thermal dalam Bangunan. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, *6*(3), 148–158.

[3] Tanjung, A., Sinurat, H., Eteruddin, H., & Arlenny. (2022). Analisis Pengaruh Udara Ambien terhadap Beban Turbin Generator PLTG Teluk Lembu. Jurnal Elektro dan Mesin Terapan, 8(2), 175–186.

[4] Faizal, M., Prasetyo, B. T., & Effendy, E. S. (2017). Analisis *Performance* TM2500 *Gas Turbine Generator Package* PLTG X pada *Factory Test* dan *Site Test*. *Bina Teknika*, *13*(2), 157.

[5] Nabilah, V., & Marpaung, R. S. (2022). Analisis Pengaruh Pemeliharaan Komponen PLTG terhadap Unjuk Kerja Turbin Gas PT PLN UPDK Belawan. Konferensi Nasional Sosial Dan Engineering Politeknik Negeri Medan, 1047–1055.

[6] GE Power. (2016). *TM2500+ Gas Turbine Generator Package Familiarization & Operations Course*.

[7] PT.SumberdayaSewatama. (2013). *Module Basic Simple Cycle Power Plant*.

[8] Bahari, L. (2005). *Makalah Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)*. 1–23.

[9] Muslim, H. S. (2016). *Teknik Pembangkit Listrik, Jilid I* (Vol. 4, Issue 1).

[10] Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2006). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics 5th Edition*. *In Energy Systems in Electrical Engineering: Vol. Part F2123*.

[11] Syammary, R., Hendri, & Lukfianto. (2020). Analisis Efisiensi Turbin Gas Tipe V94.2 Sebelum dan Sesudah *Minor Inspection* pada Blok 4 Unit 3 PLTGU Muara Tawar. *Power Plant*, *8*(2), 11.