



Contents list available at [Sinta](https://sinta)

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

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



Analisis Efisiensi Termal Sebelum dan Sesudah Overhaul Turbin Inspection di PLTGU Blok 3 Unit 2 PT PLN Nusantara Power UP Gresik

Muhammad Naufal Hardiansyah^{1*}, Muhammad Ridwan²

^{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

ARTICLE INFO

Keywords:

Thermal Efficiency, PLTGU,
Turbine Inspection, Overhaul,
Gas Turbine

ABSTRACT

*This study evaluates the thermal efficiency performance of a Combined Cycle Power Plant (PLTGU) at PT PLN Nusantara Power, Gresik Generation Unit, with a focus on Gas Turbine GT 3.2 in Block 3 Unit 2. The objective is to compare the thermal performance of the gas turbine before and after Turbine Inspection (TI). This research is motivated by increasing electricity demand and the gradual degradation of turbine components due to prolonged operation, such as fouling**, corrosion,** and mechanical wear, which can lead to higher fuel consumption and reduced efficiency. Thermal efficiency, based on Brayton cycle theory, is used as the main performance indicator, defined as the ratio of net work output to heat input (Q_{in}). A quantitative field study with a comparative before-after approach was applied using actual operational data. Key parameters analyzed include temperature, pressure, fuel flow rate, Lower Heating Value (LHV), heat input, and turbine output at loads of 100 MW and 103 MW. The results show that thermal efficiency increased after TI at both load conditions. At 100 MW, efficiency increased from 30.5450% to 31.4085%, and at 103 MW from 30.7662% to 31.4256%. These findings indicate that TI contributed to the recovery of gas turbine performance, as reflected by the increase in thermal efficiency and turbine output after maintenance.*

*Corresponding author: naufalhardiansyah2406@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i2.11194>

Received 25 February 2026; Received in revised form 26 May 2026; Accepted 16 June 2026

Available online 1 September 2026

Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik nasional terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi, industrialisasi, dan perkembangan aktivitas masyarakat, sehingga efisiensi pembangkitan menjadi faktor penting dalam menjaga keandalan dan keekonomian sistem ketenagalistrikan [1], [2]. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) memiliki peran strategis karena bekerja dengan memanfaatkan kombinasi siklus turbin gas dan turbin uap, sehingga mampu menghasilkan efisiensi konversi energi yang lebih baik dibandingkan pembangkit siklus tunggal [1], [2]. Dalam konteks sistem kelistrikan Jawa-Bali, optimalisasi efisiensi termal pada unit pembangkit menjadi penting untuk mendukung stabilitas pasokan listrik, termasuk pada unit yang dikelola oleh PT PLN Nusantara Power UP Gresik.

Secara termodinamika, turbin gas pada PLTGU bekerja berdasarkan prinsip Siklus Brayton terbuka. Siklus ini meliputi proses kompresi udara di kompresor, penambahan panas melalui pembakaran bahan bakar pada tekanan konstan di ruang bakar, serta ekspansi gas panas di turbin untuk menghasilkan kerja mekanik yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik melalui generator [8], [9]. Kinerja Siklus Brayton dipengaruhi oleh beberapa parameter utama, antara lain rasio tekanan kompresor, temperatur masuk turbin, efisiensi isentropik kompresor dan turbin, laju aliran bahan bakar, serta kondisi beban operasi [10], [4]. Dalam kondisi aktual, performa turbin gas tidak hanya ditentukan oleh parameter desain, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, pola pembebanan, dan degradasi komponen selama masa operasi.

Dalam operasi jangka panjang, turbin gas dapat mengalami penurunan performa akibat *fouling*, korosi, keausan sudu, dan meningkatnya rugi-rugi internal komponen. Dampak dari kondisi tersebut dapat terlihat pada peningkatan *specific fuel consumption* (SFC), kenaikan *heat rate*, penurunan kerja bersih, serta menurunnya

efisiensi termal [3], [12]. Efisiensi termal menjadi salah satu indikator utama dalam evaluasi performa pembangkit karena menunjukkan kemampuan sistem dalam mengonversi energi panas dari bahan bakar menjadi kerja bersih. Pada turbin gas siklus sederhana, efisiensi termal aktual umumnya berada pada kisaran 30–35%, bergantung pada rasio tekanan, temperatur masuk turbin, kondisi beban, dan tingkat degradasi komponen [1], [7].

Untuk menjaga keandalan dan performa unit, kegiatan pemeliharaan berkala seperti *Turbine Inspection* (TI) perlu dilakukan. Dalam penelitian ini, istilah *Turbine Inspection* (TI) digunakan secara konsisten untuk merujuk pada kegiatan pemeliharaan turbin yang dianalisis. TI bertujuan untuk memeriksa, memperbaiki, dan memulihkan kondisi komponen turbin agar performa operasional dapat mendekati kondisi desain. Evaluasi kuantitatif sebelum dan sesudah TI diperlukan untuk mengetahui sejauh mana kegiatan pemeliharaan tersebut berpengaruh terhadap pemulihan efisiensi termal, konsumsi bahan bakar, serta kinerja termodinamika unit secara keseluruhan [3].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kegiatan pemeliharaan turbin dapat memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan efisiensi termal. [3] melaporkan bahwa turbin gas tipe V94.2 mengalami peningkatan efisiensi sebesar 3,2% setelah pemeliharaan berdasarkan parameter daya keluaran, SFC, dan *heat rate* [3]. Selain itu, [4] melakukan penelitian berbasis standar ASME PTC 22 dan menunjukkan peningkatan efisiensi dari 32,5% menjadi 35,8% setelah adanya perbaikan pada sistem kompresi dan rasio tekanan [4]. Meskipun demikian, besaran peningkatan efisiensi setelah pemeliharaan tidak selalu sama pada setiap unit karena dipengaruhi oleh kondisi aktual pembangkit, karakteristik operasi, tingkat degradasi awal, serta parameter beban saat pengambilan data [5], [6].

Gas Turbine GT 3.2 pada PLTGU Blok 3 Unit 2 UP Gresik milik PT PLN Nusantara Power beroperasi mengikuti kebutuhan sistem interkoneksi Jawa–Bali yang bersifat dinamis. Perubahan beban operasi, termasuk pada kondisi 100 MW dan 103 MW, dapat memengaruhi laju aliran massa udara dan bahan bakar, temperatur gas pembakaran, kerja kompresor, kerja turbin, serta nilai *heat rate* dan SFC [4], [5]. Oleh karena itu, analisis pada dua kondisi beban tersebut penting dilakukan untuk memberikan gambaran mengenai perubahan performa termal unit pada kondisi operasi aktual. Selain itu, perbandingan sebelum dan sesudah TI dapat menunjukkan apakah kegiatan pemeliharaan mampu memulihkan performa turbin gas secara terukur.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis kuantitatif pengaruh pelaksanaan TI terhadap efisiensi termal Gas Turbine GT 3.2 pada PLTGU Blok 3 Unit 2 UP Gresik. Penelitian ini membandingkan kondisi sebelum dan sesudah TI pada beban 100 MW dan 103 MW dengan menggunakan data operasional aktual unit. Permasalahan utama yang dikaji adalah bagaimana perubahan efisiensi termal sebelum dan sesudah TI serta faktor teknis apa saja yang berkontribusi terhadap perubahan efisiensi tersebut. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan efisiensi termal sebelum dan sesudah TI serta mengidentifikasi pengaruh parameter tekanan, temperatur, laju aliran bahan bakar, daya keluaran turbin, *heat rate*, dan *specific fuel consumption* terhadap performa termal unit.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif dengan pendekatan komparatif sebelum dan sesudah pelaksanaan *Turbine Inspection* (TI). Objek penelitian adalah Gas Turbine GT 3.2 pada PLTGU Blok 3 Unit 2 PT PLN Nusantara Power UP Gresik. Pemilihan unit GT 3.2 didasarkan

pada ketersediaan data operasi aktual sebelum dan sesudah TI, sehingga perubahan performa termal dapat dianalisis secara langsung berdasarkan kondisi lapangan. Penelitian ini menggunakan data operasi aktual unit sebagai dasar perhitungan kinerja termodinamika turbin gas.

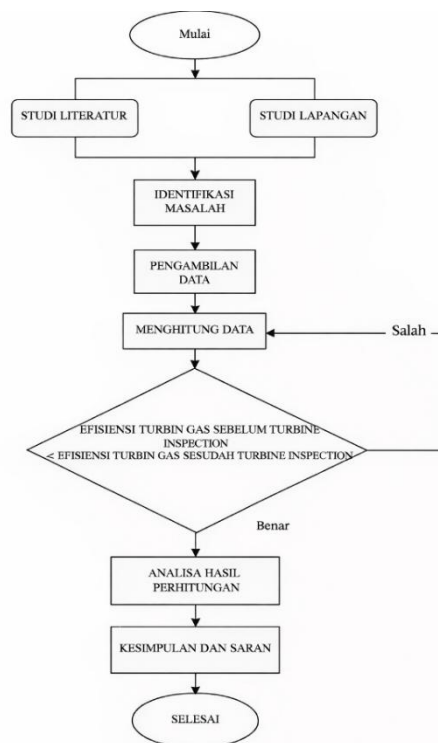
Penelitian dilaksanakan pada periode September–Desember 2025. Data yang dianalisis terdiri atas empat kondisi operasi, yaitu sebelum TI pada beban 100 MW, sebelum TI pada beban 103 MW, sesudah TI pada beban 100 MW, dan sesudah TI pada beban 103 MW. Beban 100 MW dipilih karena merepresentasikan kondisi operasi tinggi yang digunakan dalam pengamatan, sedangkan beban 103 MW dipilih karena merupakan beban maksimum unit pada data pengujian. Dengan demikian, kedua titik beban tersebut digunakan untuk membandingkan perubahan performa turbin gas pada kondisi operasi yang mendekati kapasitas kerja utama unit.

Data yang digunakan dalam penelitian meliputi temperatur masuk kompresor, tekanan masuk kompresor, temperatur keluar kompresor, tekanan keluar kompresor, temperatur keluar turbin, nilai kalor bawah bahan bakar atau *Lower Heating Value* (LHV), laju aliran bahan bakar, dan daya keluaran turbin. Parameter tersebut kemudian digunakan untuk menentukan nilai rasio tekanan, tekanan relatif, temperatur masuk turbin, serta entalpi pada titik-titik utama Siklus Brayton [13], [14].

Data operasi yang digunakan dipilih pada kondisi stabil atau *steady-state*. Kondisi *steady-state* dalam penelitian ini didefinisikan sebagai kondisi ketika unit beroperasi pada beban pengamatan 100 MW atau 103 MW tanpa perubahan beban mendadak, gangguan operasi, atau fluktuasi parameter yang bersifat transien. Pemilihan data pada kondisi stabil bertujuan untuk

meminimalkan pengaruh perubahan sesaat terhadap hasil perhitungan, sehingga nilai efisiensi termal yang diperoleh lebih merepresentasikan performa aktual unit.

Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data operasi sebelum dan sesudah TI, pemilahan data berdasarkan kondisi beban 100 MW dan 103 MW, penentuan parameter termodinamika, perhitungan indikator performa, serta analisis perbandingan hasil. Alur penelitian ditampilkan pada Gambar 1. Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah menggunakan pendekatan perhitungan termodinamika Siklus Brayton dengan bantuan Microsoft Excel. Penggunaan Microsoft Excel bertujuan untuk mempermudah proses interpolasi data, perhitungan parameter termodinamika, serta penyajian hasil dalam bentuk tabel dan grafik.



Gambar1. Diagram Alir Penelitian

Perhitungan kinerja turbin gas dilakukan dengan menentukan kerja kompresor, kerja turbin gas, kerja bersih, kalor masuk ruang bakar, efisiensi termal,

back work ratio (BWR), *heat rate*, dan *specific fuel consumption* (SFC). Kerja kompresor dihitung berdasarkan perubahan entalpi udara antara sisi masuk dan sisi keluar kompresor, sedangkan kerja turbin gas dihitung berdasarkan perubahan entalpi gas hasil pembakaran antara sisi masuk dan sisi keluar turbin. Kerja bersih diperoleh dari selisih antara kerja turbin gas dan kerja kompresor. Kalor masuk ruang bakar dihitung berdasarkan laju aliran bahan bakar dan nilai LHV. Selanjutnya, efisiensi termal dihitung sebagai perbandingan antara kerja bersih dan kalor masuk [15].

Selain efisiensi termal, penelitian ini juga menghitung *heat rate*, BWR, dan SFC sebagai indikator pendukung performa unit. *Heat rate* digunakan untuk menunjukkan kebutuhan energi panas per satuan energi listrik yang dihasilkan, BWR digunakan untuk menunjukkan perbandingan kerja kompresor terhadap kerja turbin gas, sedangkan SFC digunakan untuk menunjukkan konsumsi bahan bakar per satuan daya keluaran. [15].

Analisis data dilakukan dengan membandingkan nilai setiap parameter sebelum dan sesudah TI pada masing-masing beban. Perbandingan tersebut digunakan untuk mengetahui perubahan performa termal GT 3.2 setelah pelaksanaan TI. Analisis difokuskan pada perubahan efisiensi termal sebagai indikator utama, serta didukung oleh perubahan kerja kompresor, kerja turbin gas, kerja bersih, kalor masuk, BWR, *heat rate*, dan SFC. Dengan pendekatan ini, pengaruh pelaksanaan TI terhadap pemulihan performa turbin gas dapat dievaluasi secara kuantitatif berdasarkan data operasi aktual unit.

Hasil dan Pembahasan

Hasil perhitungan performa termal *Gas Turbine* GT 3.2 sebelum dan sesudah pelaksanaan *Turbine Inspection* (TI) dianalisis berdasarkan data operasi aktual pada beban 100 MW dan 103 MW. Parameter operasi awal yang digunakan dalam perhitungan meliputi temperatur masuk kompresor, tekanan masuk kompresor, temperatur keluar kompresor, tekanan keluar kompresor, temperatur

keluar turbin, nilai *Lower Heating Value* (LHV), serta laju aliran bahan bakar. Ringkasan parameter operasi sebelum dan sesudah TI disajikan pada Tabel 1. Data tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan parameter termodinamika, meliputi entalpi pada titik-titik utama Siklus Brayton, kalor masuk ruang bakar, kerja kompresor, kerja turbin, kerja bersih, efisiensi komponen, efisiensi termal, *heat rate*, dan *specific fuel consumption* (SFC).

Tabel 1. Parameter operasi sebelum dan sesudah TI

No	Parameter	Simbol	Satuan	Sebelum 100 MW	TI 103 MW	Sebelum 100 MW	TI 103 MW	Sesudah 100 MW	TI 103 MW	Sesudah 100 MW	TI 103 MW
1	Temperatur masuk kompresor	T1	°C	28,17	27,90	28,17	27,90	32,90	25,60	32,90	25,60
2	Tekanan masuk kompresor	P1	K bar	301,17 1,013	300,90 1,013	301,17	300,90	305,90 1,013	298,60 1,013	305,90	298,60
3	Temperatur keluar kompresor	T2	°C	406,33	407,33	406,33	407,33	408,33	400,33	408,33	400,33
4	Tekanan keluar kompresor	P2	K bar	679,33 12,03	680,33 12,13	679,33	680,33	681,33 11,85	673,33 12,23	681,33	673,33
5	Temperatur keluar turbin	T4	°C	515,00	525,00	515,00	525,00	521,67	521,67	521,67	521,67
6	<i>Low Heating Value</i>	LHV	K Btu/ft ³	788,00 10.499	798,00 10.499	788,00	798,00	794,67 10.499	794,67 10.499	794,67	794,67
7	Laju aliran bahan bakar	mBB	kJ/kg Nm ³ /jam kg/s	488.129,57 32.400 7,20	488.129,57 32.900 7,31	488.129,57	488.129,57	488.129,57 33.400 7,42	488.129,57 33.600 7,47	488.129,57	488.129,57

Berdasarkan Tabel 1, terdapat perbedaan kondisi operasi sebelum dan sesudah TI pada kedua beban pengamatan. Pada beban 100 MW, temperatur masuk kompresor meningkat dari 28,17°C sebelum TI menjadi 32,90°C sesudah TI, sedangkan pada beban 103 MW temperatur masuk kompresor menurun dari 27,90°C menjadi 25,60°C. Tekanan keluar kompresor juga berubah, yaitu dari 12,03 bar menjadi 11,85 bar pada beban 100 MW dan dari 12,13 bar menjadi 12,23 bar pada beban 103 MW. Perubahan parameter awal ini menunjukkan bahwa evaluasi efisiensi termal perlu mempertimbangkan kondisi

aktual operasi, karena temperatur, tekanan, dan laju aliran bahan bakar berpengaruh langsung terhadap proses kompresi, pembakaran, dan ekspansi turbin gas.

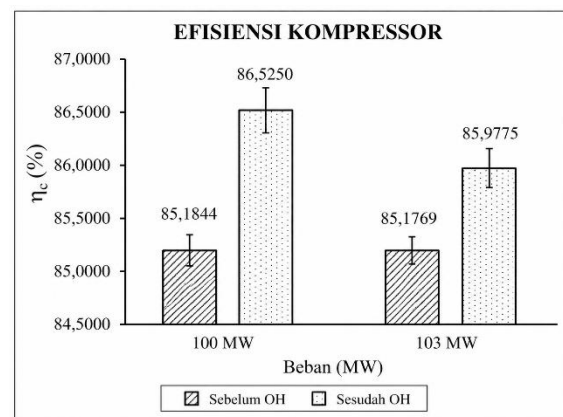
Hasil perhitungan performa turbin gas sebelum dan sesudah TI dirangkum pada Tabel 2. Tabel tersebut memuat kalor masuk ruang bakar (Q_{in}), laju aliran udara aktual, kerja kompresor, kerja turbin, kerja bersih, *heat rate*, efisiensi kompresor, efisiensi ruang bakar, efisiensi turbin, efisiensi termal, dan SFC. Penyajian hasil dalam satu tabel komparatif bertujuan untuk memperjelas perubahan performa unit pada masing-masing beban sebelum

dan sesudah TI. Dengan demikian, kecenderungan peningkatan atau penurunan performa dapat diamati secara lebih sistematis.

Tabel 2. Perhitungan efisiensi termal, BWR, *heat rate*, dan SFC sebelum dan sesudah TI

No	Parameter	Simbol	Satuan	Sebelum TI 100 MW	Sebelum TI 103 MW	Sesudah TI 100 MW	Sesudah TI 103 MW
1	Kalor masuk ruang bakar	Q_{in}	kJ/s	3.514.532,90	3.568.769,52	3.623.006,14	3.644.701,00
2	Laju aliran udara aktual	$\dot{m}_{udara}$	kg/s	3.768,69	3.735,52	3.861,60	3.818,55
3	Kerja kompresor	W_{comp}	kJ/s	1.724.256,86	1.715.154,99	1.727.710,60	1.713.971,00
4	Kerja turbin	W_t	kJ/s	2.797.771,72	2.813.130,11	2.865.642,46	2.859.339,00
5	Kerja bersih	W_{nett}	kJ/s	1.073.514,86	1.097.975,12	1.137.931,87	1.145.368,00
6	<i>Heat rate</i> GT	HR	kJ/kWh	11.785,88	11.701,15	11.461,87	11.455,64
7	Efisiensi kompresor	η_c	%	85,18	85,18	86,53	85,98
8	Efisiensi ruang bakar	η_{comb}	%	93,70	93,81	94,31	94,22
9	Efisiensi turbin	η_t	%	91,28	91,15	91,19	91,15
10	Efisiensi termal	$\eta_{thermal}$	%	30,5450	30,7662	31,4085	31,4256
11	<i>Specific fuel consumption</i>	SFC	mmBtu/kWh	2,2992	0,001214575	2,236E-05	0,001039

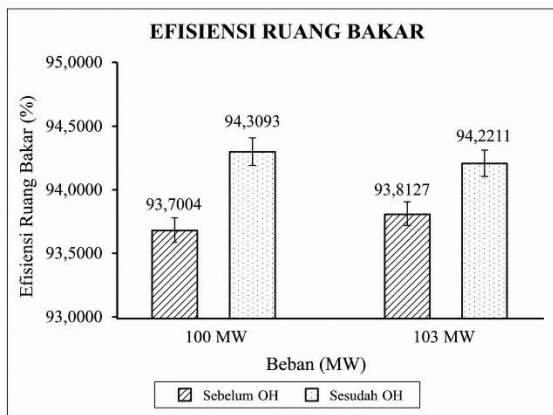
Berdasarkan Tabel 2, kerja kompresor pada beban 100 MW meningkat dari 1.724.256,86 kJ/s sebelum TI menjadi 1.727.710,60 kJ/s sesudah TI. Kenaikan kerja kompresor sebesar 3.453,74 kJ/s tersebut sejalan dengan meningkatnya temperatur masuk kompresor dan laju aliran udara aktual pada kondisi sesudah TI. Sebaliknya, pada beban 103 MW, kerja kompresor menurun dari 1.715.154,99 kJ/s menjadi 1.713.971,00 kJ/s atau turun sebesar 1.183,99 kJ/s. Perbedaan kecenderungan ini menunjukkan bahwa perubahan kerja kompresor tidak hanya dipengaruhi oleh pelaksanaan TI, tetapi juga oleh kondisi operasi saat pengambilan data, terutama temperatur udara masuk, tekanan keluar kompresor, dan laju aliran udara aktual. Perbandingan kerja kompresor sebelum dan sesudah TI ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Efisiensi Kompresor
(Sumber: Perhitungan, 2026)

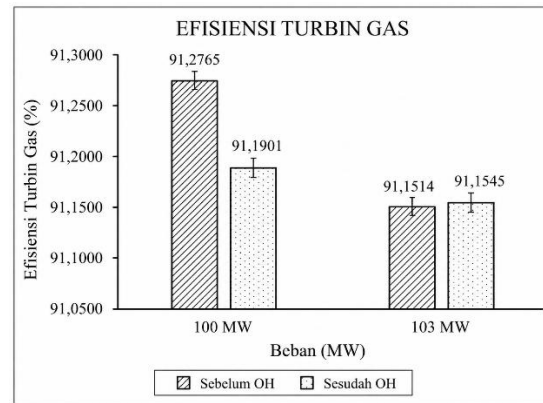
Kalor masuk ruang bakar (Q_{in}) mengalami peningkatan setelah TI pada kedua kondisi beban. Pada beban 100 MW, Q_{in} meningkat dari 3.514.532,90 kJ/s menjadi 3.623.006,14 kJ/s, sedangkan pada beban 103 MW meningkat dari 3.568.769,52 kJ/s menjadi 3.644.701,00 kJ/s. Peningkatan Q_{in} ini berkaitan dengan meningkatnya laju aliran bahan bakar setelah TI, yaitu dari 7,20 kg/s menjadi 7,42 kg/s pada beban 100 MW dan dari 7,31 kg/s menjadi 7,47 kg/s pada beban 103 MW,

sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Dengan demikian, peningkatan kalor masuk tidak dapat langsung dimaknai sebagai penurunan performa, tetapi perlu dibandingkan dengan perubahan kerja turbin dan kerja bersih yang dihasilkan. Perbandingan kalor masuk ruang bakar sebelum dan sesudah TI ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Efisiensi Ruang Bakar
(Sumber: Perhitungan, 2026)

Kerja turbin menunjukkan peningkatan setelah TI pada kedua titik beban. Pada beban 100 MW, kerja turbin meningkat dari 2.797.771,72 kJ/s menjadi 2.865.642,46 kJ/s, sedangkan pada beban 103 MW meningkat dari 2.813.130,11 kJ/s menjadi 2.859.339,00 kJ/s. Peningkatan kerja turbin ini lebih besar dibandingkan perubahan kerja kompresor, sehingga kerja bersih (W_{net}) juga meningkat. Pada beban 100 MW, kerja bersih naik dari 1.073.514,86 kJ/s menjadi 1.137.931,87 kJ/s, sedangkan pada beban 103 MW naik dari 1.097.975,12 kJ/s menjadi 1.145.368,00 kJ/s. Kondisi ini menunjukkan bahwa setelah TI, unit mampu menghasilkan kerja bersih yang lebih besar dari energi pembakaran yang masuk ke sistem. Perubahan kerja turbin sebelum dan sesudah TI disajikan pada Gambar 4.



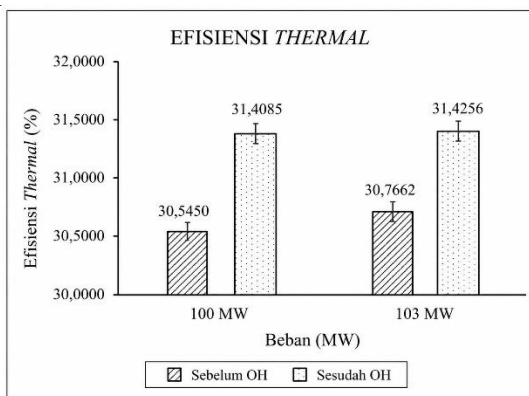
Gambar 4. Efisiensi Turbin Gas
(Sumber: Perhitungan, 2026)

Efisiensi kompresor mengalami peningkatan setelah TI pada kedua kondisi beban. Pada beban 100 MW, efisiensi kompresor meningkat dari 85,18% menjadi 86,53%, sedangkan pada beban 103 MW meningkat dari 85,18% menjadi 85,98%. Efisiensi ruang bakar juga mengalami peningkatan, yaitu dari 93,70% menjadi 94,31% pada beban 100 MW dan dari 93,81% menjadi 94,22% pada beban 103 MW. Peningkatan efisiensi kompresor dan efisiensi ruang bakar menunjukkan adanya perbaikan performa komponen setelah TI, meskipun besarnya peningkatan berbeda pada setiap kondisi beban. Namun, interpretasi ini tetap perlu dikaitkan dengan parameter operasi aktual karena perubahan temperatur, tekanan, dan laju aliran bahan bakar dapat memengaruhi hasil perhitungan efisiensi komponen.

Efisiensi turbin relatif stabil sebelum dan sesudah TI. Pada beban 100 MW, efisiensi turbin sedikit menurun dari 91,2765% menjadi 91,1901%, sedangkan pada beban 103 MW meningkat sangat kecil dari 91,1514% menjadi 91,1545%. Perubahan yang sangat kecil ini menunjukkan bahwa performa ekspansi turbin relatif tidak mengalami perubahan signifikan pada dua kondisi beban yang dianalisis. Stabilitas efisiensi turbin tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan efisiensi termal setelah TI lebih banyak dipengaruhi oleh peningkatan kerja bersih dan penurunan *heat rate*, bukan semata-mata oleh perubahan efisiensi

turbin. Oleh karena itu, analisis efisiensi termal perlu dibaca bersama dengan kerja kompresor, kerja turbin, kalor masuk, dan *heat rate*.

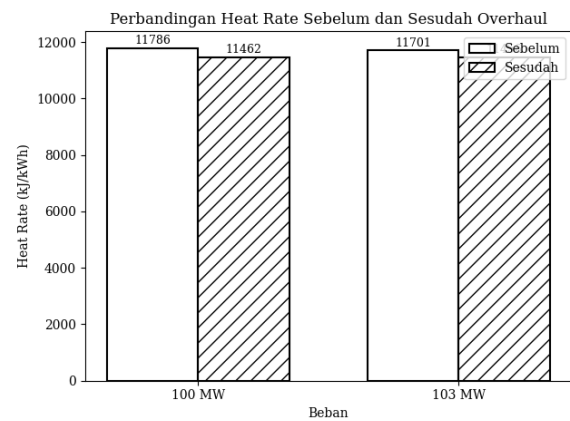
Efisiensi termal mengalami peningkatan setelah TI pada kedua kondisi beban. Pada beban 100 MW, efisiensi termal meningkat dari 30,5450% menjadi 31,4085%, atau naik sebesar 0,8635 poin persentase. Pada beban 103 MW, efisiensi termal meningkat dari 30,7662% menjadi 31,4256%, atau naik sebesar 0,6594 poin persentase. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pelaksanaan TI berkontribusi terhadap pemulihan performa termal GT 3.2. Meskipun kalor masuk ruang bakar meningkat setelah TI, peningkatan kerja bersih yang lebih besar menyebabkan rasio antara kerja bersih dan kalor masuk menjadi lebih baik. Perbandingan efisiensi termal sebelum dan sesudah TI ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Efisiensi Termal Gas Turbin
(Sumber: Perhitungan, 2026)

Hasil tersebut juga diperkuat oleh perubahan nilai *heat rate*. Pada beban 100 MW, *heat rate* menurun dari 11.785,88 kJ/kWh sebelum TI menjadi 11.461,87 kJ/kWh sesudah TI. Pada beban 103 MW, *heat rate* menurun dari 11.701,15 kJ/kWh menjadi 11.455,64 kJ/kWh. Penurunan *heat rate* menunjukkan bahwa energi panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan setiap satuan energi listrik menjadi lebih rendah setelah TI. Dengan kata lain, sistem bekerja lebih efisien karena kebutuhan energi bahan bakar per satuan keluaran

listrik menurun. Hubungan antara penurunan *heat rate* dan peningkatan efisiensi termal ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan Heat Rate dengan Efisiensi Termal
(Sumber: Perhitungan, 2026)

Secara teknis, peningkatan efisiensi termal dan penurunan *heat rate* menunjukkan bahwa TI memberikan dampak positif terhadap performa turbin gas. Pada beban 100 MW, peningkatan efisiensi termal sebesar 0,8635 poin persentase disertai penurunan *heat rate* sebesar 324,01 kJ/kWh. Pada beban 103 MW, peningkatan efisiensi termal sebesar 0,6594 poin persentase disertai penurunan *heat rate* sebesar 245,51 kJ/kWh. Temuan ini menunjukkan bahwa setelah TI, energi bahan bakar dapat dimanfaatkan lebih optimal untuk menghasilkan kerja bersih. Selain itu, peningkatan kerja bersih setelah TI mengindikasikan adanya pemulihan performa sistem termodinamika, terutama pada hubungan antara kerja turbin, kerja kompresor, dan kalor masuk ruang bakar.

Implikasi teknis dari hasil penelitian ini adalah bahwa TI dapat menjadi strategi pemeliharaan yang efektif untuk memulihkan performa turbin gas, terutama pada unit yang telah mengalami degradasi akibat operasi jangka panjang. Peningkatan efisiensi termal setelah TI berpotensi menurunkan kebutuhan energi bahan bakar per satuan energi listrik, sebagaimana ditunjukkan oleh penurunan *heat rate*. Namun, kesimpulan mengenai

penghematan bahan bakar perlu disampaikan secara hati-hati karena nilai SFC pada Tabel 2 masih menunjukkan ketidakkonsistenan skala satuan, sehingga perlu dilakukan pengecekan ulang terhadap rumus, konversi, atau satuan yang digunakan sebelum dijadikan dasar interpretasi utama. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, indikator yang paling kuat untuk menunjukkan perbaikan performa adalah peningkatan efisiensi termal, peningkatan kerja bersih, dan penurunan *heat rate*.

Berdasarkan keseluruhan hasil, pelaksanaan TI pada GT 3.2 PLTGU Blok 3 Unit 2 UP Gresik terbukti meningkatkan performa termal pada beban 100 MW dan 103 MW. Peningkatan tersebut terlihat dari naiknya efisiensi termal, meningkatnya kerja bersih, serta menurunnya *heat rate* setelah TI. Meskipun demikian, perubahan performa tidak hanya dipengaruhi oleh kegiatan TI, tetapi juga oleh kondisi aktual operasi saat pengambilan data, seperti temperatur udara masuk, tekanan kompresor, laju aliran bahan bakar, dan kondisi beban. Dengan demikian, evaluasi performa sebelum dan sesudah TI perlu dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan seluruh parameter operasi, bukan hanya berdasarkan satu indikator tunggal.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelaksanaan *Turbine Inspection* (TI) memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan efisiensi termal *Gas Turbine* GT 3.2 pada beban 100 MW dan 103 MW. Efisiensi termal pada beban 100 MW meningkat dari 30,5450% menjadi 31,4085%, sedangkan pada beban 103 MW meningkat dari 30,7662% menjadi 31,4256%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa setelah TI, kemampuan sistem dalam mengonversi energi panas bahan bakar menjadi kerja bersih menjadi lebih baik. Secara termodinamika, efisiensi termal turbin gas sangat dipengaruhi oleh hubungan antara kalor masuk, kerja

kompresor, kerja turbin, dan kerja bersih yang dihasilkan. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi tidak hanya menunjukkan adanya perubahan pada satu komponen, tetapi mencerminkan perbaikan kinerja siklus secara keseluruhan [13], [14], [15].

Peningkatan efisiensi termal tersebut dapat dijelaskan melalui perubahan kerja bersih setelah TI. Pada kedua kondisi beban, kerja turbin mengalami peningkatan yang lebih besar dibandingkan perubahan kerja kompresor, sehingga kerja bersih yang dihasilkan sistem juga meningkat. Kondisi ini menunjukkan bahwa energi hasil pembakaran setelah TI dapat dimanfaatkan secara lebih efektif untuk menghasilkan kerja keluaran. Dalam analisis Siklus Brayton, kerja bersih merupakan komponen utama dalam perhitungan efisiensi termal, sehingga peningkatan kerja bersih akan memperbaiki nilai efisiensi apabila kenaikan kalor masuk masih lebih kecil dibandingkan peningkatan kerja yang dihasilkan [15]. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa TI berkontribusi terhadap pemulihan performa termodinamika unit.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Syammary et al. [3], yang menunjukkan bahwa kegiatan *overhaul* pada turbin gas tipe V94.2 mampu meningkatkan efisiensi termal sebesar 3,2% berdasarkan parameter daya keluaran, *specific fuel consumption* (SFC), dan *heat rate*. Kesamaan temuan tersebut memperkuat bahwa pemeliharaan turbin gas dapat memulihkan performa komponen yang mengalami degradasi akibat operasi jangka panjang. Degradasi seperti *fouling*, korosi, keausan sudu, dan penurunan kualitas pembakaran dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi internal, kenaikan konsumsi bahan bakar, serta penurunan efisiensi termal. Setelah dilakukan inspeksi dan pemeliharaan, sebagian rugi-rugi tersebut dapat ditekan sehingga performa turbin gas cenderung membaik [3], [12].

Hasil penelitian ini juga konsisten dengan studi berbasis standar ASME PTC 22 yang menunjukkan peningkatan efisiensi dari 32,5% menjadi 35,8% setelah perbaikan pada sistem kompresi dan rasio tekanan [4]. Dalam penelitian ini, peningkatan efisiensi kompresor setelah TI menunjukkan adanya perbaikan performa pada proses kompresi, meskipun besar peningkatannya berbeda pada setiap beban. Perbaikan pada sisi kompresor penting karena kompresor menyerap sebagian besar kerja yang dihasilkan turbin. Apabila kinerja kompresor membaik, maka kebutuhan energi untuk proses kompresi dapat menjadi lebih terkendali dan kerja bersih sistem dapat meningkat. Hal ini mendukung teori bahwa rasio tekanan, efisiensi kompresor, dan kondisi udara masuk merupakan faktor penting yang memengaruhi kinerja Siklus Brayton [4], [10].

Selain efisiensi kompresor, efisiensi ruang bakar juga mengalami peningkatan setelah TI. Peningkatan efisiensi ruang bakar menunjukkan bahwa proses konversi energi bahan bakar menjadi energi panas berlangsung lebih baik setelah kegiatan pemeliharaan. Dalam sistem turbin gas, ruang bakar memiliki peran penting karena kualitas pembakaran akan menentukan temperatur gas masuk turbin, energi pembakaran yang tersedia, dan kemampuan turbin menghasilkan kerja. Literatur menyebutkan bahwa kualitas pembakaran, distribusi temperatur, serta kondisi komponen ruang bakar merupakan faktor yang memengaruhi performa turbin gas setelah pemeliharaan [5], [6]. Dengan demikian, peningkatan efisiensi ruang bakar dalam penelitian ini mendukung interpretasi bahwa TI berkontribusi pada pemulihan proses pembakaran dan performa siklus.

Meskipun efisiensi termal meningkat, efisiensi turbin gas relatif stabil sebelum dan sesudah TI. Pada beban 100 MW terjadi sedikit penurunan efisiensi turbin, sedangkan pada beban 103 MW terjadi peningkatan yang sangat kecil. Kondisi ini

menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi termal tidak sepenuhnya disebabkan oleh perubahan efisiensi turbin, tetapi lebih dipengaruhi oleh interaksi antara peningkatan kerja bersih, perbaikan efisiensi kompresor, peningkatan efisiensi ruang bakar, dan penurunan *heat rate*. Hal ini memperlihatkan bahwa evaluasi performa turbin gas tidak dapat hanya didasarkan pada satu indikator, karena perubahan performa pembangkit merupakan hasil interaksi beberapa parameter operasi dan komponen utama [5], [6], [15].

Penurunan *heat rate* setelah TI semakin memperkuat adanya perbaikan performa termal. Pada beban 100 MW, *heat rate* menurun dari 11.785,88 kJ/kWh menjadi 11.461,87 kJ/kWh, sedangkan pada beban 103 MW menurun dari 11.701,15 kJ/kWh menjadi 11.455,64 kJ/kWh. Penurunan *heat rate* menunjukkan bahwa energi panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan energi listrik menjadi lebih rendah setelah TI. Secara teoritis, *heat rate* memiliki hubungan berlawanan dengan efisiensi termal: semakin rendah *heat rate*, semakin tinggi efisiensi pembangkit. Oleh karena itu, penurunan *heat rate* dalam penelitian ini mendukung hasil peningkatan efisiensi termal dan menunjukkan bahwa penggunaan energi bahan bakar menjadi lebih efektif setelah pemeliharaan [4], [15].

Pada sisi konsumsi bahan bakar, nilai SFC perlu ditafsirkan secara hati-hati karena terdapat perbedaan skala angka pada salah satu kondisi beban. Secara prinsip, SFC digunakan untuk menunjukkan jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan satuan daya keluaran tertentu, sehingga penurunan SFC seharusnya sejalan dengan peningkatan efisiensi termal dan penurunan *heat rate*. Pada beban 103 MW, nilai SFC menunjukkan penurunan setelah TI, sehingga selaras dengan perubahan efisiensi termal dan *heat rate*. Namun, pada beban 100 MW, nilai SFC menunjukkan ketidaksesuaian skala yang perlu ditinjau

kembali dari aspek rumus, konversi satuan, atau input data. Oleh karena itu, pembahasan utama lebih ditekankan pada efisiensi termal, kerja bersih, dan *heat rate*, karena ketiga indikator tersebut menunjukkan pola perbaikan yang konsisten [15].

Peningkatan efisiensi termal setelah TI juga memiliki implikasi teknis terhadap pengoperasian pembangkit. Pada unit pembangkit berbasis turbin gas, peningkatan efisiensi berarti energi bahan bakar dapat dimanfaatkan secara lebih optimal untuk menghasilkan keluaran listrik. Hal ini dapat berdampak pada penurunan kebutuhan energi bahan bakar per satuan listrik yang dihasilkan, terutama apabila unit beroperasi pada beban tinggi dan mendekati kondisi desain. Namun demikian, pengaruh TI terhadap efisiensi tidak dapat dilepaskan dari kondisi aktual operasi, seperti temperatur udara masuk, tekanan kompresor, kualitas bahan bakar, laju aliran bahan bakar, kestabilan beban, serta kondisi lingkungan saat pengambilan data. Literatur sebelumnya juga menegaskan bahwa besarnya peningkatan efisiensi setelah pemeliharaan sangat bergantung pada kondisi unit, karakteristik operasi, dan tingkat degradasi sebelum pemeliharaan [5], [6].

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa TI berperan dalam memulihkan performa termal *Gas Turbine* GT 3.2. Peningkatan efisiensi termal pada kedua kondisi beban, peningkatan kerja bersih, serta penurunan *heat rate* menunjukkan bahwa pemeliharaan turbin memberikan dampak positif terhadap kinerja pembangkit. Temuan ini mendukung hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa kegiatan *overhaul* atau inspeksi turbin dapat meningkatkan efisiensi melalui pemulihan kondisi komponen, perbaikan sistem kompresi, perbaikan kualitas pembakaran, dan penurunan rugi-rugi internal [3], [4], [5], [6]. Dengan demikian, evaluasi sebelum dan sesudah TI penting dilakukan secara periodik sebagai dasar teknis dalam

pengambilan keputusan pemeliharaan, peningkatan keandalan unit, dan optimalisasi efisiensi operasi pembangkit.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data, perhitungan, dan analisis kinerja *Gas Turbine* GT 3.2 sebelum dan sesudah pelaksanaan *Turbine Inspection* (TI), dapat disimpulkan bahwa TI memberikan dampak positif terhadap peningkatan performa termal turbin gas pada beban 100 MW dan 103 MW. Efisiensi termal pada beban 100 MW meningkat dari 30,5450% sebelum TI menjadi 31,4085% sesudah TI, atau mengalami kenaikan sebesar 0,8635 poin persentase. Pada beban 103 MW, efisiensi termal meningkat dari 30,7662% menjadi 31,4256%, atau naik sebesar 0,6594 poin persentase. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa setelah TI, kemampuan sistem dalam mengonversi energi panas bahan bakar menjadi kerja bersih menjadi lebih baik.

Perbaikan performa juga ditunjukkan oleh penurunan nilai *heat rate* pada kedua kondisi beban. Pada beban 100 MW, *heat rate* menurun dari 11.785,88 kJ/kWh menjadi 11.461,87 kJ/kWh, sedangkan pada beban 103 MW menurun dari 11.701,15 kJ/kWh menjadi 11.455,64 kJ/kWh. Penurunan *heat rate* menunjukkan bahwa energi panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan setiap satuan energi listrik menjadi lebih rendah setelah TI. Selain itu, kerja bersih meningkat dari 1.073.514,86 kJ/s menjadi 1.137.931,87 kJ/s pada beban 100 MW, serta dari 1.097.975,12 kJ/s menjadi 1.145.368,00 kJ/s pada beban 103 MW.

Peningkatan kinerja setelah TI terutama berkaitan dengan membaiknya kerja bersih siklus, peningkatan efisiensi kompresor, dan peningkatan efisiensi ruang bakar. Efisiensi kompresor meningkat dari 85,18% menjadi 86,53% pada beban 100 MW dan dari 85,18% menjadi 85,98% pada beban 103 MW. Efisiensi ruang bakar juga meningkat dari 93,70% menjadi 94,31%

pada beban 100 MW dan dari 93,81% menjadi 94,22% pada beban 103 MW. Dengan demikian, pelaksanaan TI dapat dinyatakan efektif dalam memulihkan performa termal *Gas Turbine* GT 3.2, meskipun hasil perhitungan tetap dipengaruhi oleh kondisi aktual operasi, seperti temperatur udara masuk, tekanan kompresor, laju aliran bahan bakar, dan kestabilan beban saat pengambilan data.

Referensi

- [1] Rajput, R.K., 2013. *Engineering Thermodynamics*, 5th ed., Laxmi Publications.
- [2] Mulya, S., Pratiknyo, A. and Ridwan, M., 2025. A r m a t u r. *Jurnal*, 6, 25–31.
- [3] Nababan, N.B. and Susanto, E., n.d. Analisis pengaruh bahan bakar HSD dan LNG terhadap efisiensi termal PLTG dengan variasi beban menggunakan software Cycle Tempo.
- [4] Anzip, A., Bertha Agustien, S.O., Choirudin, M.F. and Mirwanto, H., 2021. Analisa pengaruh turbine inspection terhadap kinerja turbin gas MW 701D di PLTGU PT PJB UP Gresik. *Jurnal Nasional Aplikasi Mekatronika, Otomasi dan Robot Industri (AMORI)*, 2(1), 1–6.
- [5] Lumbantobing, Y.B., Wibowo, P. and Tharo, Z., 2025. Analisis minor inspection PLTGU Unit 1 PT PLN Nusantara Power UP Belawan terhadap peningkatan nilai ekonomis. *Jurnal Nasional Teknologi Komputer*, 5, 182–196.
- [6] Ridwan, M., Purba, A.S.M., Suparmin, P., Okvasari, R. and Hendri, H., 2025. Analisis efisiensi thermal dengan pendekatan Sankey diagram pada PLTGU UP Muara Karang Blok 2. *Jurnal Crankshaft*, 8(1), 28–37.
- [7] Çengel, Y.A. and Boles, M.A., 2019. *Thermodynamics: An Engineering Approach*, McGraw-Hill.
- [8] Sulisetyo, T.T.R.Y., 2024. Analisis efisiensi termal sebelum dan sesudah overhaul major inspection gas turbine pada beban 250 MW di PT PLN Indonesia Power UBP Priok. *Tugas Akhir*.
- [9] Bălănescu, D.T. and Homutescu, V.M., 2019. Performance analysis of a gas turbine combined cycle power plant with waste heat recovery in Organic Rankine Cycle. *Procedia Manufacturing*, 32, 520–528.
- [10] Wibowo, B.A., 2022. Analisis kinerja turbin gas (GT 3.1) PLTGU Muarakarang sesuai ISO 2314:2009. *Journal of New Energies and Manufacturing (JONEM)*, 1(1), 8–20.
- [11] Ikhramani, R., 2016. Analisis perbandingan performa turbin gas pada variasi beban yang berbeda di PLTGU. *Tugas Akhir*, ITS.
- [12] Boyce, M.P., 2011. *Gas Turbine Engineering Handbook*, 2nd ed., Elsevier.
- [13] Boangmanalu, O.T. and Nurhasanah, R., 2024. Efisiensi thermal sebelum dan sesudah combuster inspection PLTGU Blok 3 Unit 2 PT PLN Nusantara Power UP Gresik. *Disertasi*, ITPLN.
- [14] Martin, A., Miswandi, Prayitno, A., Kurniawan, I. and Romy, 2016. Study on gas turbine performance. *International Journal of Technology*, 5, 921–927.
- [15] Syammary, R., Hendri and Lukfianto, 2020. Analisis efisiensi turbin gas tipe V94.2 sebelum dan sesudah minor inspection. *Jurnal Power Plant*, 8(2), 71–81.