

Contents list available at [Sinta](https://sinta)**A R M A T U R**

: Artikel Teknik Mesin &amp; Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>**Analisis Pengaruh *Compressor Washing* terhadap Efisiensi *Thermal* pada Turbin Gas PLTGU Blok 3.3 UP Muara Tawar dengan Pendekatan Sankey Diagram****Adam Wirya Adzzikra<sup>1\*</sup>, Muhammad Ridwan<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi PLN, 11750, Jakarta, Indonesia<sup>2</sup>Prodi Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Bisnis Energi, Institut Teknologi PLN, Jl. Lkr. Luar Barat Kota Jakarta Barat, DKI Jakarta, Indonesia**A R T I C L E  
I N F O**

*Keywords:*  
*Gas Turbine*  
*Thermal Efficiency*  
*Compressor Washing*  
*Sankey Diagram*

**A B S T R A C T**

*Gas turbines are one of the primary technologies in power generation due to their ability to produce energy quickly and efficiently. However, the performance of gas turbines can decline over time due to fouling on the compressor, which negatively impacts the thermal efficiency of the system. One common maintenance method to address this issue is compressor washing. This study aims to analyze the impact of compressor washing on the thermal efficiency of gas turbines at PLTGU UP Muara Tawar Block 3.3 and to identify the influencing factors, using the Sankey diagram approach. The study uses both primary and secondary data collected between March and August 2024. The results show a slight improvement in thermal efficiency after compressor washing, from a range of 12.319%–13.215% to 12.295%–12.811%. The Sankey diagram reveals an increase in net output and a reduction in compressor work after cleaning. The main factors affecting thermal efficiency include compressor fouling, ambient temperature variation, and the non-operational status of the HRSG unit during the observation period. These findings confirm that compressor washing contributes to restoring gas turbine performance and enhancing overall system efficiency.*

**Pendahuluan**

Kebutuhan energi modern mendorong pemanfaatan turbin gas sebagai

\*Corresponding author: [adam2012054@itpln.ac.id](mailto:adam2012054@itpln.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i1.10231>

Received 12 September 2025; Received in revised form 30 Oktober 2025; Accepted 27 Desember 2025

Available online 1 Maret 2026

teknologi pembangkit listrik yang cepat, efisien, dan relatif bersih. Namun, kinerjanya dapat menurun akibat *fouling* pada kompresor yang menghambat aliran udara dan menurunkan efisiensi termal [3]. Dalam sistem turbin gas, udara terlebih dahulu dikompresi di bagian kompresor, kemudian dialirkan ke ruang bakar untuk dicampur dengan bahan bakar dan dibakar, menghasilkan gas panas bertekanan tinggi yang selanjutnya diekspansikan di turbin untuk menghasilkan energi mekanik. Dengan demikian, kebersihan kompresor berpengaruh langsung terhadap tekanan udara masuk dan efisiensi termal keseluruhan sistem. Salah satu metode pemeliharaan untuk mengatasi penurunan kinerja akibat *fouling* adalah *compressor washing*, yaitu pembersihan kompresor menggunakan air demineralisasi atau bahan kimia untuk memulihkan performa dan efisiensi sistem [4]. Penelitian ini menganalisis pengaruh *compressor washing* terhadap efisiensi termal turbin gas PLTGU Muara Tawar Blok 3.3 menggunakan pendekatan diagram Sankey, dengan membandingkan data operasi yang diambil dalam rentang waktu sekitar tiga bulan sebelum dan sesudah perawatan. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menjadi sebuah acuan untuk pemeliharaan serta memperkaya kajian teoritis mengenai peningkatan efisiensi turbin gas.

Dalam analisis siklus turbin gas, perhitungan dilakukan berdasarkan tiga proses utama, yaitu kompresi, pembakaran, dan ekspansi pada turbin, serta dilanjutkan dengan perhitungan efisiensi *thermal* keseluruhan.

#### Proses 1–2 (Kompresi)

Pada tahap ini udara dikompresi oleh bilah kompresor sehingga temperatur dan tekanan meningkat. Kerja kompresor dihitung dengan:

$$W_c = m_a \cdot (h_2 - h_1) \quad (1)$$

Deskripsi:

- $W_c$  = Kerja Kompresor (kJ/s)
- $m_a$  = Laju Aliran Udara (kg/s)
- $h_2$  = Nilai Entalpi Outlet Kompresor (kJ/kg)
- $h_1$  = Nilai Entalpi Inlet Kompresor (kJ/kg)

Efisiensi kompresor diperoleh dengan:

$$\eta_c = \frac{h'_2 - h_1}{h_2 - h_1} \times 100\% \quad (2)$$

Deskripsi:

- $\eta_c$  = Efisiensi Kompresor (%)
- $h'_2$  = Nilai Entalpi Ideal Outlet Kompresor (kJ/kg)
- $h_2$  = Nilai Entalpi Outlet Kompresor (kJ/kg)
- $h_1$  = Nilai Entalpi Inlet Kompresor (kJ/kg)

#### Proses 2–3 (Pembakaran)

Udara bertekanan bercampur dengan bahan bakar, kemudian terbakar menghasilkan energi panas. Kalor masuk dihitung dengan:

$$Q_{in} = m_f \cdot LHV \quad (3)$$

Deskripsi:

- $Q_{in}$  = Kalor Masuk (kJ/s)
- $m_f$  = Laju Aliran Bahan Bakar (kg/s)
- $LHV$  = Low Heating Value (kJ/kg)

#### Proses 3–4 (Ekspansi pada Turbin)

Gas hasil pembakaran diekspansikan melalui turbin untuk menghasilkan kerja. Besarnya kerja turbin:

$$W_t = (m_a + m_f) \cdot (h_3 - h_4) \cdot \eta_t \quad (4)$$

Deskripsi:

- $W_t$  = Kerja Turbin (kJ/s)
- $m_a$  = Laju Aliran Udara (kg/s)
- $m_f$  = Laju Aliran Bahan Bakar (kg/s)
- $h_3$  = Nilai Entalpi Inlet Turbin (kJ/kg)
- $h_4$  = Nilai Entalpi Outlet Turbin (kJ/kg)
- $\eta_t$  = Efisiensi Turbin (%)

Efisiensi turbin dihitung dengan:

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h'_4} \times 100\% \quad (5)$$

Deskripsi:

- $\eta_t$  = Efisiensi Turbin (%)
- $h'_4$  = Nilai Entalpi Ideal Outlet Turbin (kJ/kg)
- $h_4$  = Nilai Entalpi Outlet Turbin (kJ/kg)
- $h_3$  = Nilai Entalpi Inlet Turbin (kJ/kg)

Efisiensi *Thermal* Turbin Gas

Efisiensi *thermal* siklus turbin gas ditentukan oleh selisih kerja turbin dengan kerja kompresor terhadap kalor masuk:

$$\eta_{th} = \frac{W_t - W_c}{Q_{in}} \times 100\% \quad (6)$$

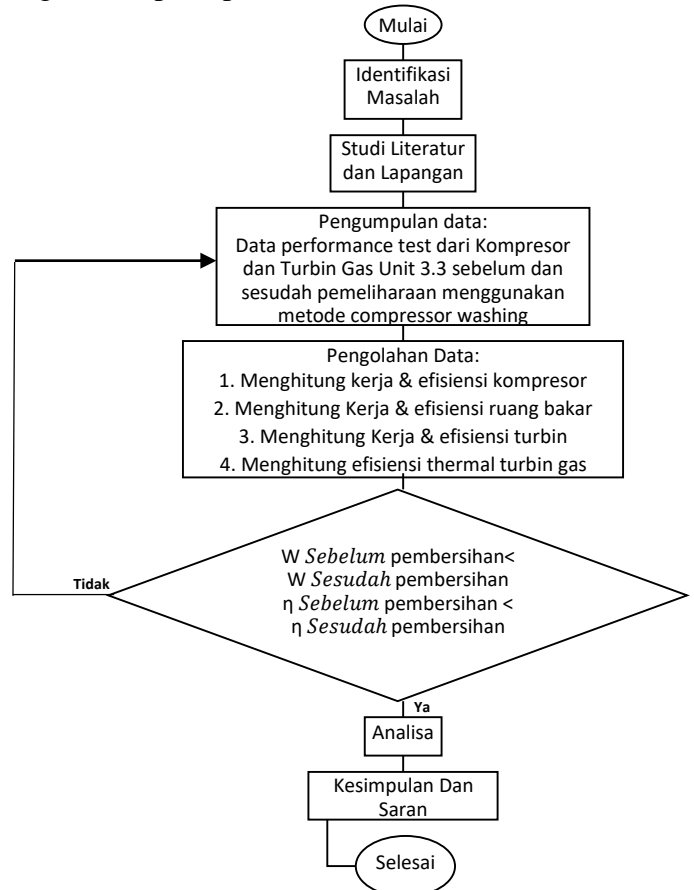
Deskripsi:

- $\eta_{th}$  = Efisiensi *Thermal* Turbin Gas (%)
- $W_t$  = Kerja Turbin (kJ/s)
- $W_c$  = Kerja Kompresor (kJ/s)
- $Q_{in}$  = Kalor Masuk (kJ/s)

### Metode Penelitian

Secara teoritis, PLTGU bekerja dengan siklus kombinasi Brayton–Rankine, di mana panas hasil pembakaran gas dimanfaatkan kembali melalui HRSG untuk menggerakkan turbin uap. Efisiensi termal ditentukan dari perbandingan antara kerja bersih turbin gas dan energi panas bahan bakar. Metode *compressor washing* menggunakan air demineralisasi untuk mengurangi *fouling* pada bilah kompresor sehingga kinerjanya dapat pulih. Analisis dilakukan menggunakan diagram Sankey untuk memvisualisasikan distribusi energi dan perubahan kinerja sebelum serta sesudah perawatan. Penelitian di PLTGU Muara Tawar Blok 3.3 ini bertujuan mengkaji pengaruh *compressor washing* terhadap efisiensi termal dengan membandingkan data enam bulan sebelum dan sesudah perawatan pada dua beban operasi, meliputi parameter usaha kompresor, usaha turbin, efisiensi kompresor, dan efisiensi termal yang dihitung berdasarkan persamaan termodinamika siklus turbin gas.

**Desain Penelitian.** Untuk menyelesaikan penelitian analisis pengaruh *compressor washing* terhadap efisiensi termal pada turbin gas PLTGU UP Muara Tawar Blok 3.3 diperlukan adanya kerangka berpikir. Berikut diagram Flowchart yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 1 Flowchart

**Metode Pengumpulan Data.** Untuk mencapai tujuan penelitian, data dikumpulkan melalui beberapa metode berikut:

1. Mengumpulkan data dari operator pembangkit secara langsung.
2. Mengkaji literatur dan melakukan wawancara secara langsung dengan operator setempat.
3. Melakukan observasi secara langsung pada komponen utama turbin gas blok 3.3
4. Mendapatkan data tambahan dari laporan operator serta staff pada saat pelaksanaan operasi pembangkit

## Hasil dan Pembahasan

Berikut merupakan pengolahan data sekunder yang diambil dari data operasi gas turbin PT PLN Nusantara Power PLTGU UP Muara Tawar Blok 3. Data diambil pada empat waktu pengamatan yang mewakili kondisi sebelum dan sesudah pelaksanaan *compressor washing*, yaitu pada tanggal 23 Maret, 19 Mei, 22 Juni, dan 23 Agustus 2024. Rentang waktu antar pengambilan data sekitar tiga bulan, menggambarkan perubahan kinerja unit sebelum dan setelah perawatan dilakukan. Pengamatan dilakukan pada dua variasi beban, yaitu 138 MW dan 142 MW, serta pada dua waktu operasi (pagi 09:00 dan siang 13:00).

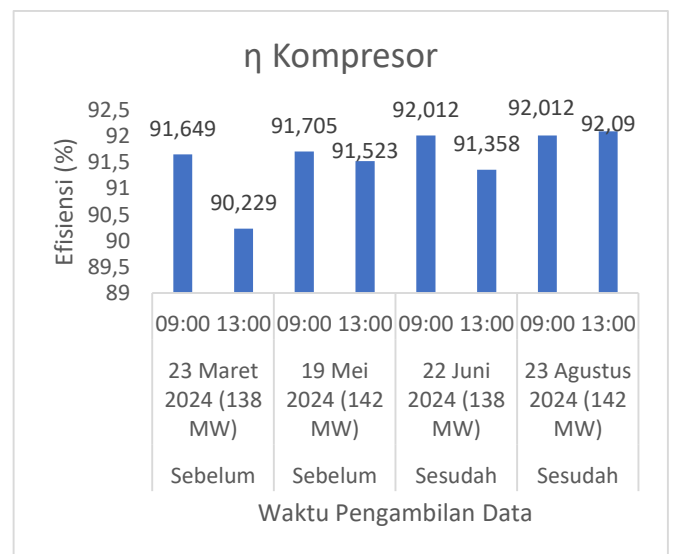
Tabel 1 Data Perhitungan Sebelum Dilakukan Perawatan

Parameter	Simbol	Satuan	23 Maret 2024		19 Mei 2024	
			09:00	13:00	09:00	13:00
Power Output	MW	MW	138	138	142	142
Laju Aliran Bahan Bakar	$m_f$	kg/s	9,58	9,58	10,03	10,03
Laju Aliran Udara	$m_a$	kg/s	475,15	472,47	477,51	476,02
Suhu awal Kompresor	$T_1$	°K	305,81	307,34	304,98	306,22
Suhu akhir Kompresor	$T_2$	°K	634,02	639,41	632,62	635,81
Suhu awal Turbin	$T_3$	°K	1333,15	1333,15	1333,15	1333,15
Suhu Akhir Turbin	$T_4$	°K	832,74	835,64	832,02	834,82
Tekanan awal Kompresor	$P_1$	Bar	1	1	1	1
Tekanan akhir Kompresor	$P_2$	Bar	11,04	10,88	11,07	11,07
Tekanan awal Turbin	$P_3$	Bar	10,82	10,67	10,88	10,9
Tekanan akhir Turbin	$P_4$	Bar	1,01	1,01	1,01	1,01
Low Heating Value	LHV	kJ/kg	44495,624	44495,624	44114,038	44114,038
Heat Rate	HR	kJ/kWh	27,242	29,199	27,765	29,63
Pressure Ratio	PR	-	11,04	10,88	11,07	11,07
CDP	CDP	Bar	11,04	10,88	11,07	11,07
CDT	CDT	°K	634,02	639,41	632,62	635,81
Kalor Masuk	$Q_{in}$	kJ/s	42626,8074	42626,8074	44246,38	44246,38
Kerja Kompresor	$W_{kompresor}$	kJ/s	16005,615	16112,4474	16054,106	16105,5612
Kerja Turbin	$W_{turbin}$	kJ/s	21638,8821	21363,6866	21790,9992	21481,656
Efisiensi Kompresor	$\eta_{kompresor}$	%	91,649	90,229	91,705	91,523
Efisiensi Turbin	$\eta_{turbin}$	%	77,317	77,187	77,305	76,853
Efisiensi Termal	$\eta_{termal}$	%	13,215	12,319	12,966	12,15

Tabel 2 Data Perhitungan Setelah Dilakukan Perawatan

Parameter	Simbol	Satuan	22 Juni 2024		23 Agustus 2024	
			09:00	13:00	09:00	13:00
Power Output	MW	MW	138	138	142	142
Laju Aliran Bahan Bakar	$m_f$	kg/s	10,22	10,22	10,19	10,19
Laju Aliran Udara	$m_a$	kg/s	481,04	479,67	478,35	476,43
Suhu awal Kompresor	$T_1$	°K	303,25	305,57	305,39	308,03
Suhu akhir Kompresor	$T_2$	°K	630,99	634,19	633,24	636,04
Suhu awal Turbin	$T_3$	°K	1333,15	1333,15	1333,15	1333,15
Suhu Akhir Turbin	$T_4$	°K	830,7	834,26	832,49	836,02
Tekanan awal Kompresor	$P_1$	Bar	1	1	1	1
Tekanan akhir Kompresor	$P_2$	Bar	11,25	11,02	11,12	10,98
Tekanan awal Turbin	$P_3$	Bar	11,02	110,87	10,9	10,72
Tekanan akhir Turbin	$P_4$	Bar	1,01	1,01	1,01	1,01
Low Heating Value	LHV	kJ/kg	44625,265	44625,265	43598,051	43598,051
Heat Rate	HR	kJ/kWh	28,224	29,656	28,101	29,28
Pressure Ratio	PR	-	11,25	11,02	11,12	10,98
CDP	CDP	Bar	11,25	11,02	11,12	10,98
CDT	CDT	°K	630,99	634,19	633,24	636,04
Kalor Masuk	$Q_{in}$	kJ/s	45608,0429	45608,0429	44426,41	44426,41
Kerja Kompresor	$W_{kompresor}$	kJ/s	16173,4744	16178,0666	16094,07	16044,46
Kerja Turbin	$W_{turbin}$	kJ/s	21990,9433	21714,478	21785,6	21506,68
Efisiensi Kompresor	$\eta_{kompresor}$	%	92,012	91,358	92,012	92,09
Efisiensi Turbin	$\eta_{turbin}$	%	77,229	76,994	77,197	77,03
Efisiensi Termal	$\eta_{termal}$	%	12,755	12,139	12,811	12,295

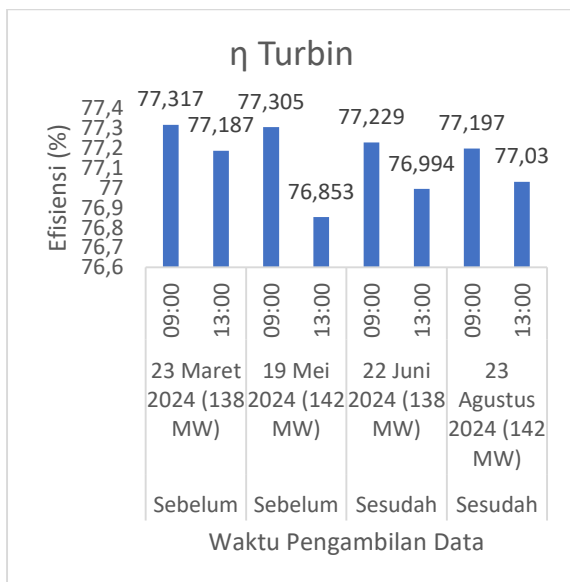
## Analisis Efisiensi Kompresor



Gambar 2 Perbandingan Efisiensi Kompresor

Sebelum perawatan, efisiensi kompresor mengalami penurunan sekitar 1,4% antara periode pengamatan pertama hingga berikutnya. Pada pengamatan bulan Mei, kondisi efisiensi relatif stabil dibandingkan periode sebelumnya. Setelah dilakukan *compressor washing* pada bulan Juni, efisiensi meningkat sekitar 0,4%, kemudian hanya mengalami penurunan kecil pada periode sesudahnya. Peningkatan kembali terlihat pada pengamatan bulan Agustus dengan selisih sekitar 0,7% dibandingkan kondisi sebelum perawatan. Pola perubahan ini menunjukkan bahwa *fouling* yang terjadi sebelum perawatan menyebabkan hambatan aliran udara di kompresor, sedangkan peningkatan setelah *compressor washing* menandakan keberhasilan proses pembersihan bilah dalam memulihkan kinerja kompresor dan menjaga kestabilan tekanan udara masuk ke ruang bakar.

### Analisis Efisiensi Turbin



Gambar 3 Perbandingan Efisiensi Turbin

Sebelum perawatan, efisiensi turbin mengalami penurunan sekitar 0,13% hingga 0,45% pada dua periode pengamatan. Setelah dilakukan *compressor washing*, efisiensi meningkat tipis sekitar 0,04% namun kembali menurun di periode

berikutnya. Perubahan kecil ini menunjukkan bahwa *compressor washing* membantu menjaga kestabilan kinerja turbin meskipun pengaruhnya relatif terbatas.

### Analisis Kerja Kompresor



Gambar 4 Perbandingan Kerja Kompresor

Sebelum perawatan, kerja kompresor menunjukkan kenaikan sekitar 1–1,5% antara pagi dan siang hari pada pengamatan pertama, yang mengindikasikan meningkatnya beban kerja akibat suhu udara lingkungan yang lebih tinggi. Pada periode berikutnya, nilai kerja kompresor sempat menurun di pagi hari namun kembali meningkat di siang hari. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan temperatur udara *ambient* menyebabkan penurunan densitas udara, sehingga kompresor memerlukan lebih banyak energi untuk mencapai tekanan yang sama. Setelah dilakukan *compressor washing*, kerja kompresor meningkat sekitar 0,4% dibandingkan sebelum perawatan, menandakan adanya pemulihan performa akibat hilangnya *fouling* pada bilah kompresor. Namun, pada pengamatan bulan Agustus, kerja kompresor kembali menurun sekitar 0,5%, yang menunjukkan mulai terbentuknya *fouling* kembali seiring berjalannya waktu operasi.

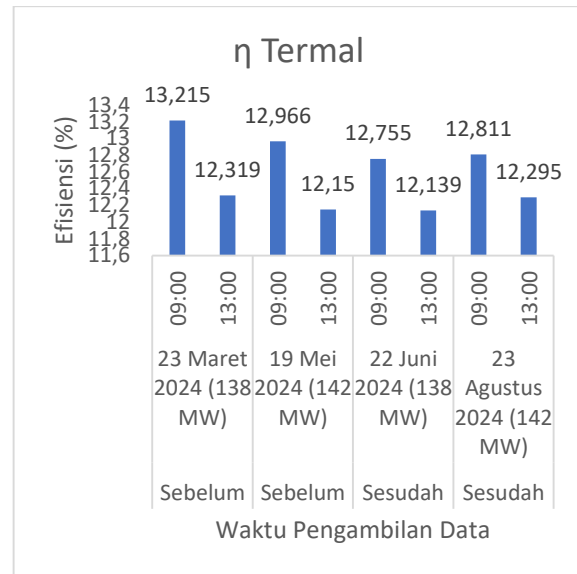
## Analisis Kerja Turbin



Gambar 5 Perbandingan Kerja Turbin

Sebelum perawatan, kerja turbin menunjukkan penurunan dari pagi ke siang hari dengan selisih sekitar 1–1,3%, yang mencerminkan pengaruh kenaikan temperatur udara lingkungan terhadap penurunan kerapatan udara dan efisiensi ekspansi gas di turbin. Pada pengamatan bulan Mei, terjadi sedikit peningkatan nilai kerja di pagi hari dibandingkan periode sebelumnya, namun secara keseluruhan kondisi masih relatif stabil tanpa menunjukkan perubahan berarti. Setelah dilakukan *compressor washing* pada bulan Juni, kerja turbin meningkat sekitar 0,9–1,2% baik pada pengamatan pagi maupun siang hari. Peningkatan ini menandakan bahwa proses pembersihan kompresor berhasil memperbaiki aliran udara masuk dan mendukung proses pembakaran yang lebih optimal. Namun, pada pengamatan bulan Agustus, nilai kerja kembali menurun sekitar 1%, yang menunjukkan mulai terbentuknya *fouling* kembali pada bilah kompresor akibat waktu operasi yang panjang.

## Analisis Efisiensi Termal Turbin

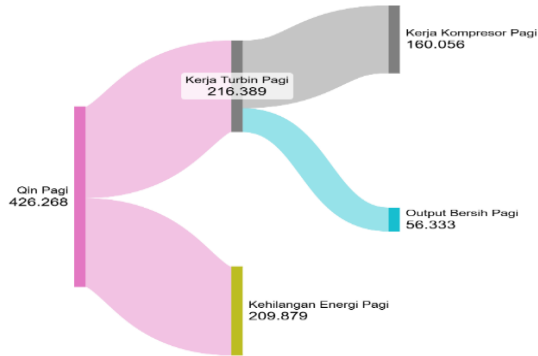


Gambar 6 Perbandingan Nilai Efisiensi Termal Turbin

Sebelum perawatan, efisiensi termal mengalami penurunan sekitar 0,9–1% antara pagi dan siang hari. Penurunan ini disebabkan oleh peningkatan suhu udara lingkungan yang menurunkan densitas udara serta memperparah *fouling* pada kompresor, sehingga proses pembakaran menjadi kurang optimal. Pada pengamatan bulan Mei, efisiensi pagi hari sedikit meningkat dibandingkan periode sebelumnya, namun secara umum nilainya masih cenderung menurun di siang hari akibat jumlah kotoran pada bilah kompresor. Setelah dilakukan *compressor washing* pada bulan Juni, efisiensi termal meningkat tipis sekitar 0,3–0,5% di pagi hari, diikuti penurunan kembali pada siang hari. Kenaikan kecil ini menunjukkan bahwa pembersihan kompresor mulai memulihkan performa sistem, meskipun efeknya belum maksimal karena masih adanya penyesuaian operasi dan pengaruh temperatur sekitar. Pada pengamatan bulan Agustus, efisiensi termal kembali meningkat sedikit dibandingkan periode sebelumnya, menandakan bahwa sistem mulai mencapai kondisi operasi yang lebih stabil, walaupun

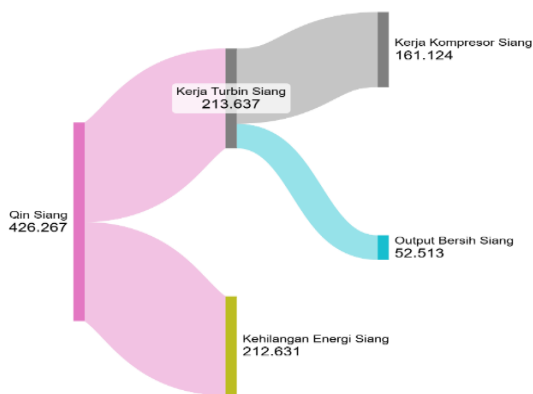
pada siang hari masih terjadi penurunan efisiensi akibat suhu udara yang lebih tinggi.

**Sankey Diagram**  
**Tanggal 23 Maret 2024 (138 MW)**



Gambar 7 Diagram Sankey 23 Maret 2024 di Pagi Hari

Energi panas masuk ( $Q_{in}$ ) sebesar 426,268 kJ/s menghasilkan kerja turbin 216,389 kJ/s. Beban kerja kompresor mencapai 160,056 kJ/s, sehingga output bersih yang dihasilkan adalah 56,333 kJ/s. Kehilangan energi tercatat 209,879 kJ/s. Efisiensi termal pada kondisi ini adalah 13,21%. Nilai ini menunjukkan turbin masih bekerja pada kapasitas yang relatif baik, meski sudah terlihat adanya rugi energi yang cukup besar pada saat sebelum dilakukan perawatan.

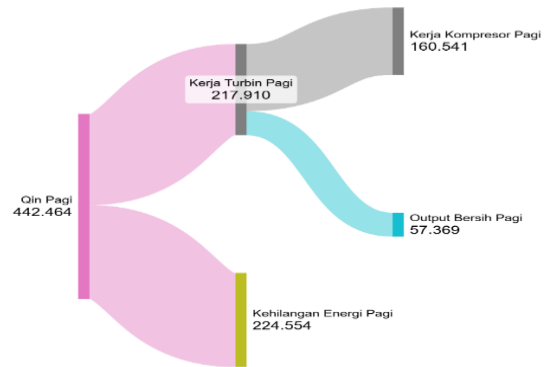


Gambar 8 Diagram Sankey 23 Maret 2024 di Siang Hari

Energi panas masuk ( $Q_{in}$ ) hampir sama, yakni 426,267 kJ/s, namun kerja turbin turun menjadi 213,637 kJ/s. Kerja

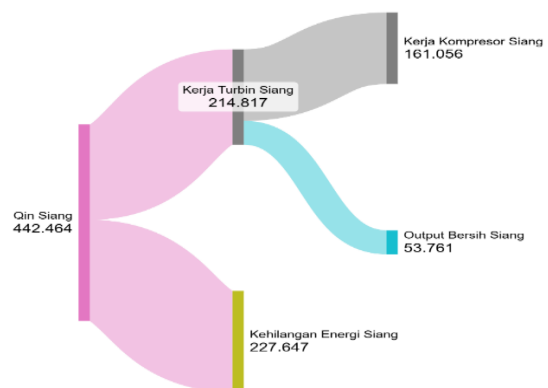
kompresor meningkat menjadi 161,124 kJ/s, yang menurunkan output bersih menjadi 52,513 kJ/s. Kehilangan energi naik menjadi 212,631 kJ/s, dan efisiensi termal turun menjadi 12,32%. Penurunan ini dipengaruhi oleh temperatur udara siang yang lebih tinggi, menyebabkan peningkatan beban kompresor dan rugi energi yang lebih besar.

**Tanggal 19 Mei 2024 (142 MW)**



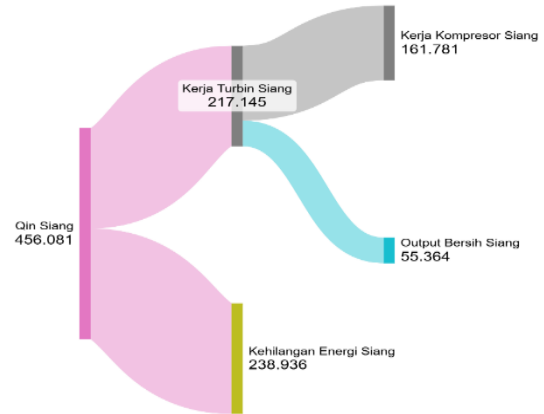
Gambar 9 Diagram Sankey 19 Mei 2024 di Pagi Hari

Pada kondisi pagi hari, aliran energi menunjukkan nilai masukan panas ( $Q_{in}$ ) sebesar 442,464 kJ. Dari jumlah tersebut, kerja turbin mencapai 217,910 kJ, sedangkan kerja kompresor memerlukan 160,541 kJ. Output bersih yang dihasilkan adalah 57,369 kJ, sementara kehilangan energi mencapai 224,554 kJ. Angka ini menunjukkan bahwa meskipun kerja turbin relatif tinggi, besarnya kehilangan energi membuat efisiensi termal masih terbatas.



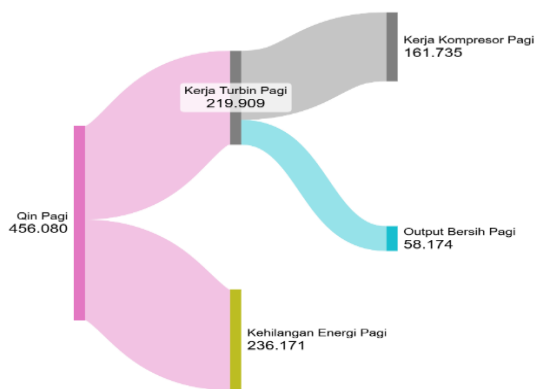
Gambar 10 Diagram Sankey 19 Mei 2024 di Siang Hari

Pada siang hari, nilai  $Q_{in}$  tetap sebesar 442,464 kJ. Kerja turbin sedikit menurun menjadi 214,817 kJ, dan kerja kompresor sebesar 161,056 kJ. Output bersih yang dihasilkan adalah 53,761 kJ, sedangkan kehilangan energi meningkat menjadi 227,647 kJ. Peningkatan kehilangan energi di siang hari dibandingkan pagi hari mengindikasikan potensi penurunan performa akibat faktor suhu lingkungan atau kondisi operasi mesin.



Gambar 12 Diagram Sankey 22 Juni 2024 di Siang Hari

### Tanggal 22 Juni 2024 (138 MW)

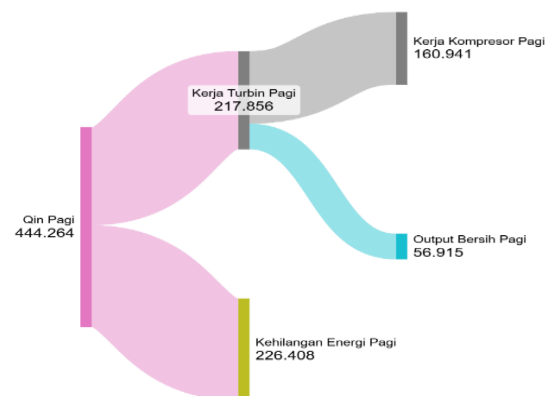


Gambar 11 Diagram Sankey 22 Juni 2024 di Pagi Hari

Setelah *compressor washing*, pada beban 138 MW di pagi hari,  $Q_{in}$  tercatat 456,080 kJ/s. Kerja turbin mencapai 219,909 kJ/s dan kerja kompresor 161,735 kJ/s, menghasilkan output bersih 58,174 kJ/s dengan efisiensi termal sekitar 12,76%. Dibandingkan sebelum perawatan pada 23 Maret (beban sama), kerja turbin meningkat dari 217,252 kJ/s menjadi 219,909 kJ/s dan output bersih naik dari 56,476 kJ/s menjadi 58,174 kJ/s. Peningkatan ini menunjukkan pemulihan performa setelah pembersihan kompresor, walau efisiensi tidak meningkat signifikan akibat kenaikan  $Q_{in}$  dan hilangnya sebagian energi pada gas buang.

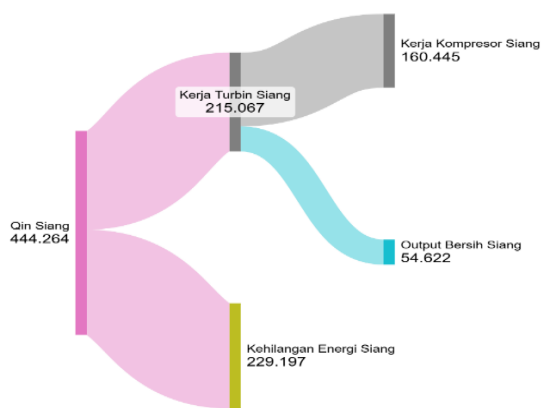
Pada siang hari dengan beban yang sama,  $Q_{in}$  tercatat 456,081 kJ/s, kerja turbin 217,145 kJ/s, kerja kompresor 161,781 kJ/s, dan output bersih 55,364 kJ/s, menghasilkan efisiensi termal sekitar 12,14%. Dibandingkan kondisi sebelum perawatan pada 23 Maret, kerja turbin naik tipis dari 215,381 kJ/s menjadi 217,145 kJ/s, dan output bersih bertambah dari 53,786 kJ/s menjadi 55,364 kJ/s. Meski terjadi peningkatan kinerja, efisiensi tetap lebih rendah dibanding pagi hari karena temperatur udara siang lebih tinggi, sehingga densitas udara turun dan memengaruhi laju aliran massa udara masuk turbin.

### Tanggal 23 Agustus 2024 (142 MW)



Gambar 13 Diagram Sankey 23 Agustus 2024 di Pagi Hari

Pada pengukuran pagi hari tanggal 23 Agustus setelah dilakukan perawatan, nilai heat input ( $Q_{in}$ ) tercatat sebesar 444,264 kJ. Kerja turbin mencapai 217,856 kJ, sedangkan kerja kompresor berada pada 160,941 kJ. Output bersih yang dihasilkan sebesar 56,915 kJ, dengan kehilangan energi sebesar 226,408 kJ. Jika dibandingkan dengan kondisi sebelum perawatan pada 19 Mei, terjadi peningkatan kerja turbin dari 216,428 kJ menjadi 217,856 kJ, serta kenaikan output bersih dari 55,661 kJ menjadi 56,915 kJ. Kehilangan energi juga mengalami sedikit penurunan dari 227,836 kJ menjadi 226,408 kJ. Hal ini menunjukkan adanya perbaikan kinerja sistem setelah perawatan, meskipun peningkatan yang terjadi relatif kecil.



Gambar 14 Diagram Sankey 23 Agustus 2024 di Siang Hari

Pada pengukuran siang hari tanggal 23 Agustus setelah dilakukan perawatan, nilai heat input ( $Q_{in}$ ) tercatat sebesar 444,264 kJ. Kerja turbin mencapai 215,067 kJ, sedangkan kerja kompresor berada pada 160,445 kJ. Output bersih yang dihasilkan sebesar 54,622 kJ, dengan kehilangan energi sebesar 229,197 kJ. Dibandingkan dengan kondisi sebelum perawatan pada 19 Mei, kerja turbin meningkat dari 213,990 kJ menjadi 215,067 kJ, output bersih naik dari 53,697 kJ menjadi 54,622 kJ, dan kehilangan energi menurun dari 230,274 kJ menjadi 229,197 kJ. Perubahan ini

mengindikasikan bahwa perawatan memberikan dampak positif terhadap efisiensi sistem, meskipun peningkatannya tidak terlalu signifikan.

## Kesimpulan

Analisis performa turbin gas pada PLTGU UP Muara Tawar Unit 3.3 menunjukkan adanya peningkatan efisiensi termal setelah *compressor washing*, dari kisaran 12,319–13,215% sebelum perawatan (23 Maret) menjadi 12,295–12,811% setelah perawatan (23 Agustus). Meskipun peningkatan relatif kecil, hasil ini mengindikasikan bahwa *compressor washing* berkontribusi dalam memulihkan kinerja kompresor, yang terlihat pula pada kenaikan output bersih dalam diagram Sankey. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi antara lain *fouling* kompresor, temperatur lingkungan, serta degradasi komponen turbin seperti blade yang mengalami erosi. Selain itu, kerugian energi (*losses*) masih cukup besar akibat HRSG yang belum beroperasi penuh, sehingga potensi efisiensi keseluruhan belum dimanfaatkan optimal.

## Referensi

- [1] A. J. Ujam, P. O. (2013). *Performance Evaluation of a Gas Turbine Power Plant by the application of Compressor Off-line and On-line Water Washing Techniques. (A Case Study of 450MW Sapele Power Station in Delta State, Nigeria)*. 29-41.
- [2] Cengel, & Boles. (2015). *Property Tables And Charts. In Cengel, & Boles, Property Tables And Charts* (pp. 935-936).
- [3] Emeka, K. B. (2014). *Operation and Maintenance Schedule of a Steam Turbine Plant. A Case Study of Egbin Thermal Power Station*, 04-05.
- [4] Gonzalez, M. P. (2007). *A Study of On-line and Off-line Turbine Washing to Optimize the Operation of a Gas Turbine*.

*Journal of Engineering for Gas Turbine and Power*, 01-09.

[5] Lastarda, N. (2013). Mengoperasikan Turbin Gas PLTGU dan Mengoperasikan HRSG PLTGU. Jakarta: Telaah Staf tidak diterbitkan.

[6] Lesmana, S. F. (2021). Analisis Pengaruh Turbine Washing Terhadap Efisiensi dan Daya Pembangkit Turbin Uap. 79-88.

[7] M. Ali Susanto, J. d. (2019). Analisis Pengaruh Blade Compressor washing terhadap Efisiensi Kompresor dan Efisiensi Termal Turbin Gas. 1167-1173.

[8] Meher-Homji, C. B., & Bromley, A. (2004). *Gas Turbine Axial Compressor Fouling and Washing*. 163-192.

[9] Nabilah, V. dkk. (2022). Analisis Pengaruh Pemeliharaan Komponen PLTG Terhadap Unjuk Kerja Turbin Gas PT PLN UPPDK Belawan. 01-04.

[10] Naryono, L. b. (2013). Analisis Efisiensi Turbin Gas Terhadap Beban Operasi Pltgu Muara Tawar Blok 1. 78-94.

[11] Novi Gusnita, K. S. (2017). Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alsthom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 MW. 209-218.

[12] Oluwadare, B. S. et al. (2024). *Impact of Fuel Quality on Gas Turbine Components*. *European Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, 50-58.

[13] Prayudi, & Wicaksono, A. (2020). Analisa Gangguan *Inlet Guide Vane* Pada *Gas Turbine Generator* Tambak Lorok Menggunakan Metode *Root Cause Failure Analysis*. *Jurnal Pembangkit*, 38-43.

[14] Putra, A. K., & Pariaman, H. (2020). Analisis Energi dan Eksergi Pembangkit Listrik Tenaga Gas-Uap Blok 1 Unit Pembangkitan Gresik. *Jurnal Power Plant*, 30-38.

[15] Rajeev, V. et al. (2020). *Energy and Exergy Analysis of a 3 x 500 MW Coal Fired Thermal Power Plant Using Cycle Tempo*. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 3860-3869.

[16] Sulistyono, E., & Mintorogo, M. A. (2020). Pengaruh Overhaul Terhadap Performa Sistem Pelumasan Air Heater. *Jurnal Power Plant*, 13-19.

[17] Surase, R. S. et al. (2024). *Thermal Performance Analysis of Gas Turbine Power Plant Using Soft Computing Technique*.

[18] Syammary, R. dkk. (2020). Analisis Efisiensi Turbin Gas Tipe V94.2 Sebelum dan Sesudah Minor Inspection Pada Blok 4 Unit 3 Pltgu Muara Tawar. *Jurnal Power Plant*, 71-81.