

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

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

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

Analisis Pengaruh *Water Wash Compressor* Terhadap Efisiensi Turbin Gas PLTG MPP Unit TM 2 PT. PLN Batam UP Tarahan

Syiar Mulya Ahmad Pratiknyo^{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:

Water Wash Compressor, Gas Turbine Efficiency, PLTG MPP, Compressor Performance

ABSTRACT

Improving the efficiency of gas turbines is crucial for optimizing the performance of Gas Power Plants (PLTG). One way to enhance this efficiency is through the use of the water wash compressor method, which aims to clean deposits and dirt from the compressor blades. This study aims to analyze the impact of water wash compressors on the efficiency of gas turbines at PLTG MPP unit TM 2 PT. PLN Batam UP Tarahan. The method used in this study is comparative, with the collection of average operational data 1 month before and after the implementation of water wash compressors over three periods: August 2023, November 2023, and February 2024. The results show that water wash compressors can increase gas turbine efficiency. In the August 2023 period, turbine efficiency increased from 90.032% to 90.046%. In the November 2023 period, efficiency increased from 89.850% to 90.058%. In the February 2024 period, efficiency increased from 89.703% to 90.045%. This increase indicates that cleaning deposits and dirt from the compressor blades can restore the compressor's optimal condition, improving gas turbine performance, airflow, and gas turbine.

Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Gas *Mobile Power Plant* (PLTG MPP) memegang peran penting dalam pemenuhan

kebutuhan energi listrik yang terus meningkat, terutama untuk sektor industri, komersial, dan rumah tangga[1]. Peningkatan beban listrik terutama terjadi pada waktu-waktu tertentu, yang

*Corresponding author: syiar2012039@itpln.ac.id

DOI: <https://10.24127/armatur.v6i1.7174>

Received September 05, 2024; Received in revised form March 16, 2025; Accepted March 17, 2025

Available online March 19, 2025

mengakibatkan PLTG MPP sering kali dioperasikan pada kapasitas maksimum selama periode *peak hour*. Di antara berbagai unit pembangkit, PLTG MPP Unit TM 2 PT. PLN Batam UP Tarahan mengalami penurunan daya keluaran yang signifikan, dikenal sebagai *derating*[2]. Ketika tidak mampu mencapai Daya Mampu Neto (DMN) yang telah disetujui dalam jangka waktu tertentu. Salah satu penyebab utama dari penurunan efisiensi turbin gas ini adalah akumulasi *fouling* pada sudu *compressor* dan penurunan efektivitas komponen *Variable Inlet Guide Vanes (VIGV)*[3].

Dalam mengatasi permasalahan ini, metode *water wash compressor* telah diterapkan guna meningkatkan kembali kinerja *compressor* yang terdampak oleh akumulasi residu dan kotoran[4]. Proses pembersihan ini terbukti efektif dalam mengembalikan efisiensi operasional turbin gas dan mengurangi dampak *derating*. Penelitian ini akan mengkaji pengaruh *water wash compressor* terhadap kinerja PLTG MPP Unit TM 2, dengan fokus pada perubahan efisiensi dan daya keluaran sebelum dan setelah dilakukan proses *water wash compressor* pada 3 periode yaitu Agustus 2023, November 2023, dan Februari 2024.

Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan permasalahan penelitian ini yaitu apakah *water wash compressor* dapat mempengaruhi kerja *compressor*, kerja turbin gas, dan efisiensi turbin gas serta faktor apa saja yang mempengaruhi penurunan efisiensi turbin gas unit TM 2 PLTG MPP Tarahan.

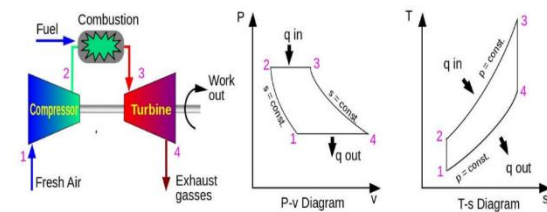
Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah menganalisis pengaruh *water wash compressor* terhadap kerja *compressor*, kerja turbin gas, dan efisiensi turbin gas serta faktor apa saja yang mempengaruhi

penurunan efisiensi turbin gas unit TM 2 PLTG MPP Tarahan.

Turbin Gas

Turbin gas adalah sebuah pembangkit dengan penggerak mula yang memanfaatkan gas sebagai fluida kerja. Di dalam turbin gas energi kinetik dikonversikan menjadi energi mekanik berupa putaran yang menggerakkan roda turbin sehingga menghasilkan daya. Bagian turbin yang berputar disebut rotor atau roda turbin dan bagian turbin yang diam disebut stator. Rotor memutar poros daya yang menggerakkan generator listrik, *compressor* dan lainnya. Gambar skema dari suatu instalasi turbin gas untuk industri.



Gambar 1 Skema Siklus PLTG

Siklus Brayton merupakan salah satu siklus termodinamika. Gas turbin adalah salah satu sistem mekanik lainnya yang menghasilkan daya, dalam pengoperasian siklus terbuka, udara masuk ke *compressor*, melewati ruang pembakaran tekanan konstan, melewati turbin dan kemudian keluar sebagai produk hasil pembakaran ke atmosfer[5].

$$W_{\text{compressor}} = \dot{m}_{\text{udara}} \times (h_2 - h_1) \quad (\text{Setiawan et al., 2017})$$

$$W_{\text{Turbin Gas}} = (\dot{m}_{\text{udara}} + \dot{m}_{\text{bb}}) \times (h_3 - h_4) \quad (\text{Syammary et al., 2020})$$

$$\eta_{\text{Turbin Gas}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_4'} \quad (\text{Syammary et al., 2020})$$

keterangan :

$$W_{\text{compressor}} = \text{Kerja Compressor (kJ/s)}$$

$$W_{\text{Turbin Gas}} = \text{Kerja Turbin Gas (kJ/s)}$$

$$\eta_{\text{Turbin Gas}} = \text{Efisiensi Turbin Gas (\%)}$$

$$\dot{m}_{\text{udara}} = \text{massa aliran udara (kg/s)}$$

$$\dot{m}_{\text{bb}} = \text{massa bahan bakar (kg/s)}$$

$$h_1 = \text{Enthalphy in compressor (kJ/s)}$$

$$h_2 = \text{Enthalphy out compressor (kJ/s)}$$

$h_3 = \text{Enthalpy in turbin gas (kJ/s)}$
 $h_4 = \text{Enthalpy out turbin gas (kJ/s)}$
 $h_4' = \text{Enthalpy ideal out turbin gas (kJ/s)}$

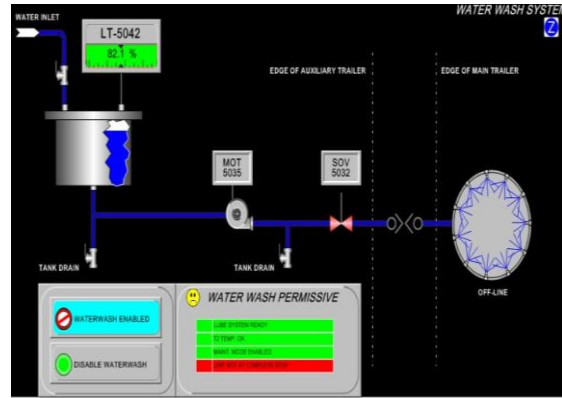
Water Wash Compressor

Operation dan *maintenance* pembangkit listrik bertujuan untuk menjaga agar performa pembangkit listrik yang di jalankan tetap maksimal, terdapat banyak sekali kegiatan yang berkaitan dengan *operation* dan *maintenance* pembangkit listrik, mulai dari kegiatan yang sifatnya harian, mingguan dan bulanan[6].

Hukum pertama termodinamika pada hakikatnya merupakan representasi dari prinsip konversi energi yang menunjukkan bahwa energi merupakan salah satu ciri termodinamika. Disisi lain hukum kedua termodinamika menunjukkan bahwa energi memiliki aspek kualitatif dan kuantitatif dan proses alamiah berlangsung menuju penurunan kualitas energi[7].

Salah satu rutinitas tiga bulanan yang rutin dilakukan dalam upaya menjaga performa turbin adalah *water wash compressor* atau jika kita terjemahkan kedalam bahasa indonesia kurang lebih berarti mencuci *compressor*, pengertian *water wash* sendiri dapat kita sederhanakan yaitu mencuci *blade - blade* pada *compressor* dan turbin. untuk menjaga performa turbin gas, juga untuk mengurangi tingkat penambahan *fouling* pada bilah-bilah *compressor* turbin gas[8].

Kebersihan *Compressor* dapat dipertahankan dengan menggunakan program *water wash compressor*. Ada dua macam tipe *water wash* yang dapat dilakukan yaitu *online* dan *offline water wash*. Sebuah kegiatan mencuci saat tidak aktif atau *offline* yang digunakan di PLTG MPP Tarahan. Dilakukan dengan turbin gas dalam keadaan menggunakan kecepatan *cranking* kecepatan 2000-3000 rpm, pada pembersihan model ini juga digunakan campuran ZOK.



Gambar 2 Diagram Water Wash

Proses pencucian yang dilakukan di PLTG MPP Tarahan adalah menggunakan metode *offline water wash* dimana kegiatannya dilakukan saat unit TM 2 tidak beroperasi atau sedang *off* unit. Proses pelaksanaan *water wash*:

1. Pengecekan Peralatan Melakukan pengecekan harus dipastikan dalam proses *water wash compressor* diantaranya pengecekan motor pompa transfer *water* dan *water washing skid*.
2. Pembersihan tangki *water wash* pada saat *manhole* dibuka, ditemukan tangki dalam keadaan tidak bersih dan memerlukan pengurusan isi tangki. Tangki lalu di drain dan dibersihkan menggunakan *water jet* dan majun.
3. *Flushing* pipa bagian pada pipa *water skid* telah terendam, lalu dilakukan *flushing* pipa menggunakan air demin.
4. Pengisian air demin dan cairan ZOK Pengisian air tangki pada *water wash* dilakukan dengan menggunakan air demineral dan larutan ZOK sebagai cairan pencuci yang akan membersihkan sudu-sudu *compressor*.
5. Pelaksanaan *water wash* dan pengeringan. Proses pengeringan *compressor* dan ruang bakar dilakukan dalam dua langkah. Langkah pertama melibatkan pengaktifan *cranking* pada turbin gas setelah proses *rising*. *Cranking* bertujuan untuk menghilangkan residu yang masih tersisa di *inlet plenum*, *compressor*, dan ruang bakar.



Gambar 3 Pelaksanaan *Water Wash Compressor*

Metode Penelitian

Waktu dan Tempat. Penelitian ini dilakukan mulai tanggal 12 April 2024 – 31 Juli 2024 di PT PLN Batam UP Tarahan, Jalan Raya Bakauheni KM 15 Desa Rangai Tri Tunggal, Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung.

Tahapan Penelitian. Tahapan penelitian dimulai dengan Studi Literatur dan Observasi Lapangan sebagai dasar dalam proses Identifikasi Masalah. Pada tahap ini, peneliti mengkaji literatur yang relevan dan melakukan observasi langsung untuk memahami masalah operasional yang dihadapi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) MPP terkait penurunan efisiensi *compressor* setelah proses *water wash*. Langkah identifikasi ini penting untuk memperjelas fokus penelitian, yaitu menganalisis pengaruh proses *water wash* pada *compressor* terhadap efisiensi turbin gas. Data yang diambil yaitu rata-rata 1 bulan sebelum dan setelah *water wash* pada 3 periode (Agustus 2023, November 2023, dan Februari 2024).

Setelah masalah teridentifikasi, dilanjutkan dengan tahap pengumpulan data. Data tersebut digunakan untuk menghitung berbagai parameter yang diperlukan dalam analisis, seperti kerja *compressor* ($W_{compressor}$), kerja turbin gas (W_{turbin}), dan perubahan efisiensi (η_{turbin}) sebelum dan setelah proses *water*

wash. Data ini kemudian diproses secara matematis untuk mendapatkan hasil perhitungan yang lebih mendalam terkait pengaruh proses tersebut terhadap kinerja turbin gas.

Pada tahap akhir, dilakukan analisis pengaruh proses *water wash* pada *compressor* terhadap efisiensi turbin gas. Apabila hasil perhitungan menunjukkan peningkatan efisiensi turbin setelah proses *water wash*, penelitian ini memberikan rekomendasi berdasarkan hasil tersebut. Sebaliknya, jika tidak terdapat peningkatan, langkah evaluasi lebih lanjut diperlukan. Akhirnya, penelitian ini ditutup dengan kesimpulan yang mencakup rekomendasi praktis mengenai penerapan *water wash* dalam optimasi efisiensi *compressor* dan turbin gas di PLTG MPP

Metode penelitian ini dilaksanakan secara langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Gas *Mobile Power Plant* (PLTG MPP) Unit TM 2 PT. PLN Batam UP Tarahan, dengan tujuan untuk mengukur dan menganalisis pengaruh *water wash compressor* terhadap efisiensi turbin gas. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan pada komponen utama sistem pembangkit, khususnya *compressor* dan turbin gas. Wawancara dengan personel operasi dan pengecekan data pada ruang kontrol utama (CCR) juga menjadi bagian dari metode pengumpulan data langsung. Sumber data lainnya diperoleh dari catatan operasi unit sebelum dan setelah *water wash* serta wawancara dengan teknisi terkait.

Selain pengumpulan data secara langsung, metode tidak langsung juga diterapkan, yaitu melalui data dari *manual book* PLTG MPP. Data spesifikasi *compressor* dan turbin gas serta informasi tambahan dari studi literatur turut menjadi acuan dalam analisis. Dengan demikian, kombinasi metode langsung dan tidak langsung memberikan gambaran yang komprehensif terkait kondisi operasional PLTG MPP sebelum dan setelah proses pembersihan *compressor*.

Hasil dan Pembahasan

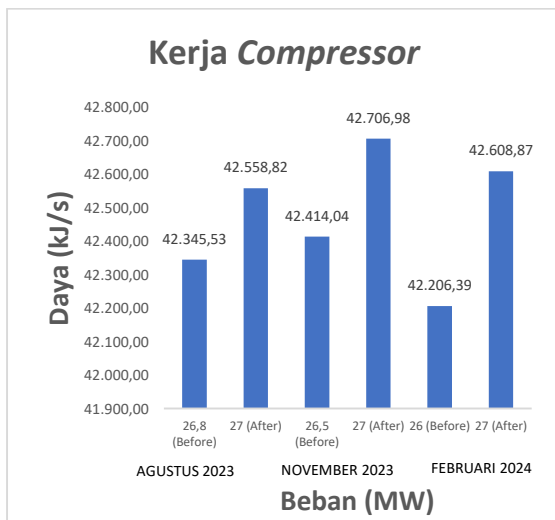
Setelah melakukan perhitungan akhir didapatkan hasil perhitungan efisiensi dalam 3 periode rata-rata 1 bulan sebelum dan setelah *water wash compressor* dengan membandingkan pada suhu *temperature ambient* yang sama.

Langkah pertama adalah melakukan perhitungan untuk mencari nilai T3, T2', dan T4' dengan menggunakan persamaan interpolasi matematis. Dilanjutkan dengan menentukan *enthalphy* masing-masing suhu pada *table gas ideal properties of air A-17*.

Sehingga dapat dilihat hasil data penelitian berupa *enthalphy*, rasio tekanan, massa udara, massa bahan bakar, dan tekanan relatif pada tabel berikut:

Tabel 1 Parameter Data Awal

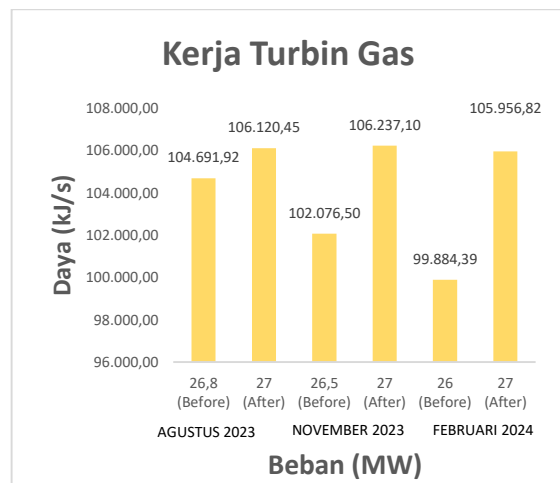
No	Parameter	Simbol	Beban		Beban		Beban		Satuan
			26,8 MW (Before)	26,5 MW (Before)	26 MW (Before)	27 MW (After)	27 MW (After)	27 MW (After)	
1	Enthalpy udara masuk compressor	h ₁	302,484	302,484	302,484	302,484	302,484	302,484	kJ/kg
2	Enthalpy udara keluar compressor	h ₂	811,154	831,282	847,085	804,447	807,198	806,573	kJ/kg
3	Enthalpy Gas masuk turbin	h ₃	2195,536	2228,313	2266,275	2193,775	2191,195	2193,598	kJ/kg
4	Enthalpy Gas keluar turbin	h ₄	974,440	995,696	1015,838	973,311	972,127	973,220	kJ/kg
5	Enthalpy ideal udara keluar compressor	h _{1'}	738,503	75,177	733,322	739,711	739,607	739,711	kJ/kg
5	Enthalpy ideal Gas keluar turbin	h _{4'}	839,701	856,447	872,308	838,384	837,553	838,319	kJ/kg
6	Massa udara	m _{udara}	83,427	84,427	80,383	84,616	77,500	84,287	kg/s
7	Massa bahan bakar	m _{bb}	2,49	2,53	2,43	2,53	2,38	2,53	kg/s



Gambar 4 Grafik Kerja Compressor

$$\begin{aligned}
 W_{\text{compressor}} &= \dot{m}_{\text{udara}} \times (h_2 - h_1) \\
 &= 83,247 \times (811,154 - 302,28) \\
 &= 42.345,528 \text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk periode *water wash compressor* lainnya dilakukan dengan rumus serupa dan diketahui hasil perhitungan disajikan dalam grafik. Setelah dilakukan *water wash compressor*, kerja *compressor*, selalu meningkat. Pada Agustus 2023, kerja *compressor* naik dari 42.345,53 kJ/s menjadi 42.558,82 kJ/s ketika beban naik dari 26,8 MW ke 27 MW. Di November 2023, kerja *compressor* meningkat dari 42.414,04 kJ/s ke 42.706,98 kJ/s dengan beban yang juga naik. Hal serupa terjadi pada Februari 2024, di mana kerja *compressor* bertambah dari 42.206,39 kJ/s menjadi 42.608,87 kJ/s. Faktor yang mempengaruhi peningkatan ini adalah banyaknya *running hours*, lingkungan yang kotor, dan peningkatan beban maksimum.

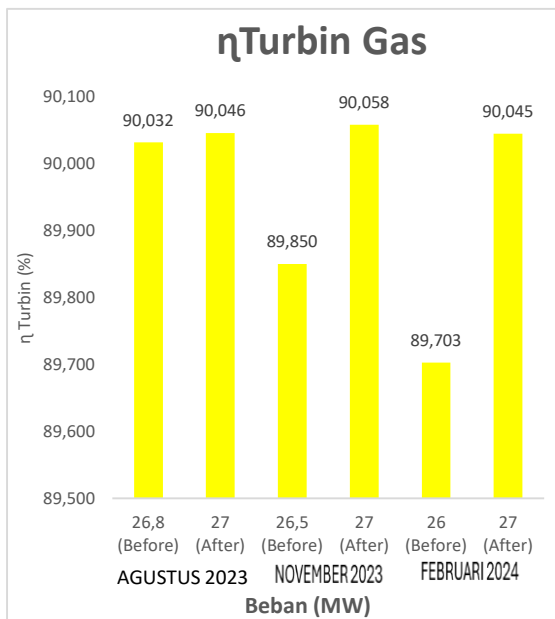


Gambar 5 Grafik Kerja Turbin Gas

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Turbin}} &= (\dot{m}_{\text{udara}} + \dot{m}_{\text{bb}}) \times (h_3 - h_4) \\
 &= (83,247 + 2,49) \times (2.195,5 - 974,46) \\
 &= 104.691,92 \text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk periode *water wash compressor* lainnya dilakukan dengan rumus serupa kerja turbin dan diketahui hasil perhitungan disajikan dalam grafik. Setelah dilakukan *water wash compressor*, kerja turbin gas selalu terjadi peningkatan. Pada Agustus 2023, kerja turbin naik dari 104.691,92 kJ/s menjadi 106.120,45 kJ/s ketika beban naik dari 26,8 MW ke 27 MW.

Pada November 2023, kerja turbin meningkat dari 102.076,50 kJ/s menjadi 106.237,10 kJ/s dengan peningkatan beban dari 26,5 MW ke 27 MW. Pada Februari 2024, kerja turbin bertambah dari 99.884,39 kJ/s menjadi 105.956,82 kJ/s saat beban naik dari 26 MW ke 27 MW. Peningkatan ini disebabkan oleh *running hours* yang tinggi, operasi *baseload*, lingkungan yang kotor di sekitar filter *inlet*, serta peningkatan beban maksimum.



Gambar 6 Grafik Efisiensi Turbin Gas

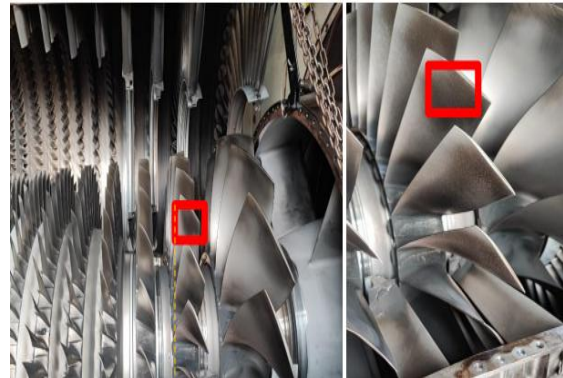
$$\eta_{\text{Turbin Gas}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_4'} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{Turbin Gas}} = \frac{2195,536 - 974,460}{2195,536 - 839,272} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{Turbin Gas}} = 90,032\%$$

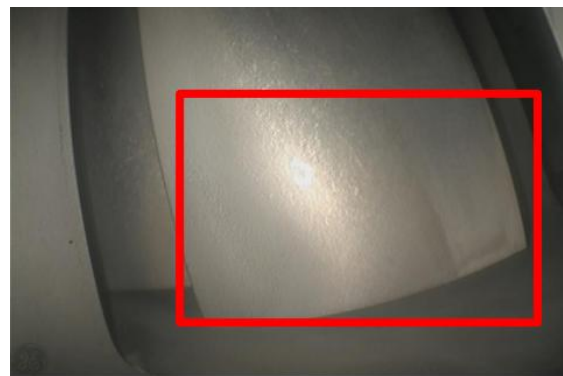
Perhitungan untuk periode *water wash compressor* lainnya dilakukan dengan rumus serupa efisiensi turbin gas dan diketahui hasil perhitungan disajikan dalam grafik. Setelah dilakukan *water wash compressor*, efisiensi turbin pada pembangkit PLTG MPP TM 2 mengalami peningkatan. Sebelum pembersihan, efisiensi turbin pada beban 26,8 MW hingga 27 MW berkisar antara 89,703% hingga 90,032%, namun setelah *water wash*, nilai efisiensi meningkat hingga sekitar 90,058%. Peningkatan efisiensi ini disebabkan oleh

kebersihan komponen turbin setelah proses *water wash*, di mana *fouling* pada sudu-sudu *blade* berkurang, memungkinkan aliran udara lebih optimal dan meningkatkan performa keseluruhan turbin gas. Seiring peningkatan beban maksimum, turbin bekerja lebih efisien, yang menunjukkan dampak *water wash* pada efisiensi turbin gas.



Gambar 7 Sebelum Pelaksanaan *Water Wash Compressor*

Gambar sebelum pelaksanaan *water wash* dan juga penggantian *stage compressor* sehingga bisa dilihat langsung tanpa menggunakan *borescope*. Sebelum pembersihan, bilah *compressor* terlihat terdapat kotoran dan deposit pada sudu *compressor* yang mengganggu aliran udara dan mengurangi efisiensi proses kompresi.



Gambar 8 Setelah Pelaksanaan *Water Wash Compressor*

Setelah pembersihan dilihat menggunakan *borescope*, saat *borescope inspection* bilah atau sudu *compressor* tampak bersih dan bebas dari *fouling* atau kontaminasi, yang memungkinkan aliran udara yang lebih lancar, dapat meningkatkan kerja komponen turbin gas, dan efisiensi turbin gas.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, *water wash compressor* terbukti efektif meningkatkan kinerja dan efisiensi turbin gas pada PLTG MPP Unit TM 2 di Tarahan. Setelah dilakukan *water wash*, beban naik dari 26 MW, 26,5 MW, 26,8 MW menjadi 27 MW, dengan peningkatan kerja *compressor* dan turbin gas di setiap periode pengujian (Agustus 2023, November 2023, dan Februari 2024). Peningkatan efisiensi turbin gas terlihat meningkat, dengan peningkatan dari 90,032% menjadi 90,046% pada Agustus 2023, 89,850% menjadi 90,058% pada November 2023, dan 89,703% menjadi 90,045% pada Februari 2024. Faktor udara lingkungan yang kotor, *running hours* tinggi 52.675,45 jam, dan berpola operasi *baseload* dapat mempengaruhi performa mesin dan efisiensi turbin gas secara keseluruhan.

Referensi

- [1] Mulyani, D., & Hartono, D. (2018). Pengaruh efisiensi energi listrik pada sektor industri dan komersial terhadap permintaan listrik di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan*, 11(1), 1-17.
- [2] Harefa, S. H. (2022). Analisis Tingkat Keandalan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Berdasarkan Nilai Indeks Kinerja Pembangkit Pada Unit PLTG MPP 1x25 MW Gunung Sitoli (Doctoral Dissertation, angFakultas Sain dan Teknologi).
- [3] Setiawan, B., & Hidayat, G. (2017). Analisis Pengaruh *Compressor Washing* Terhadap Efisiensi *Compressor* Dan Efisiensi *Thermal Turbin Gas* Blok 1.1 PLTG UP Muara Tawar. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 11(1), 49-54.
- [4] Senjaya, F. D., & Napitupulu, F. H. (2013). Analisa Pengaruh *Water Wash* Terhadap Performansi Turbin Gas Pada PLTG Unit 7 Paya Pasir PT. PLN Sektor Pembangkitan Medan. *Jurnal e-Dinamis*, 7(3).
- [5] 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), 157-163.
- [6] Nabilah, V., Marpaung, R. S., & Nainggolan, R. (2022). Analisis Pengaruh Pemeliharaan Komponen PLTG Terhadap Unjuk Kerja Turbin Gas PT PLN UPDK Belawan. *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)*, 3(1), 1047-1055.
- [7] Mulyono, V. A. (2022). Analisis Kinerja Turbin Gas MS7001EA. *P raxis: Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, 4(2), 107-115.
- [8] Erwanto, S. (2022). Analisa-Pengaruh-*Water-Wash*-Terhadap Performansi Turbin Gas Pada PLTG Unit 2 Borang Unit Layanan Pusat Listrik Merah Mata PT PLN (PERSERO) Unit Induk Pembangkitan Sumatera Bagian Selatan (Doctoral dissertation, 021008 Universitas Tridianti Palembang