

# ANALISIS PENGARUH *COMPRESSOR WASHING* TERHADAP EFISIENSI KOMPRESOR DAN EFISIENSI *THERMAL* TURBIN GAS BLOK 1.1 PLTG UP MUARA TAWAR

**Bambang Setiawan\***, Gunawan Hidayat, Singgih Dwi Cahyono  
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta  
Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia

\*Email: bambang.setiawan@ftumj.ac.id

Diterima: 20-05-2017

Direvisi: 25-05-2017

Disetujui: 01-06-2017

## ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Gas UP Muara Tawar (PLTG UP Muara Tawar) merupakan salah satu unit pembangkit di Indonesia. PLTGU merupakan pembangkit yang memiliki respon yang cepat terhadap perubahan beban. Oleh karena itu perubahan beban pada PLTGU sering sekali terjadi. Untuk menjaga *performance* pada PLTGU, peralatan yang ada dalam PLTGU harus dijaga kondisinya agar dapat bekerja secara optimal. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan Analisis Pengaruh *Compressor Washing* Terhadap Efisiensi Kompresor Dan Turbin Gas Blok 1.1 PLTGU UP Muara Tawar dengan menganalisis efisiensi kompresor dan turbin gas. Dari hasil penelitian ini didapat bahwa efisiensi kompresor sebelum dilakukan *Compressor Washing* mengalami penurunan efisiensi tertinggi yaitu 0.31% dan setelah dilakukan *Compressor Washing* mengalami kenaikan efisiensi tertinggi yaitu 0.53%. Efisiensi *Thermal* sebelum dilakukan *Compressor Washing* mengalami penurunan tertinggi yaitu 0.039% dan setelah dilakukan *Compressor Washing* mengalami kenaikan tertinggi yaitu 1.461%.

**Kata kunci:** turbin gas, efisiensi kompresor, efisiensi *thermal*, kompresor, turbin

## ABSTRACT

*Muara Tawar Gas Turbine Power Plant is one of the generating units in Indonesia. Combined Cycle Power Plant is a plant that has a fast response to load changes. Therefore changes in the load on the combined cycle often occurs. To keep performance at combined cycle power plant, existing equipment must be maintained in a condition PLTGU order to work optimally. At this final project will be analysis the effect compressor washing to compressor efficiency and gas turbine efficiency of gas turbine combine cycle power plant block 1.1 UP Muara by analyzing the resulting efficiency compressor and gas turbine. From the results of this study found that the highest compressor efficiency of gas before compressor washing is 0.31% and after compressor washing is 0.53 %. Highest Thermal efficiency before compressor washing is 0.039% and after compressor washing is 1.461%.*

**Keywords:** gas turbines, compressor efficiency, thermal efficiency, compressor, turbine

## PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari terutama hari-hari kerja, PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) sering mengalami beban maksimum (*Base Load*). Beban maksimum ini terjadi karena kebutuhan daya listrik konsumen melonjak cukup signifikan pada saat jam-jam tertentu. Sehingga pihak PT PLN melalui P2B

akan meminta pembangkit yang terutama PLTG untuk menaikkan produksi listrik mencapai beban maksimal sesuai dengan DMN (Daya Mampu Netto) yang telah disetujui melalui kontrak kinerja atau kemampuan aktual dari pembangkit tersebut.

Pada kenyataannya, sering terjadi penurunan daya yang dihasilkan oleh PLTG. Pembangkit

ini tidak mampu memenuhi DMN yang telah di setuju, sehingga akan terjadi *derating*. *Derating* merupakan kondisi dimana daya keluaran ( MW ) kurang dari DMN-nya, derating ini dimulai ketika pembangkit tidak mampu mencapai 98% DMN lebih dari 30 menit. Penurunan performa pembangkit ini dapat dipengaruhi oleh suplai bahan bakar yang kurang, performa peralatan utama yang menurun dan menurunnya kemampuan *Variable Inlet Guide Vanes* ( *VIGV* ) pada kompresor.

Yang sering terjadi adalah performa kompresor dan *Variable Inlet Guide Vanes* ( *VIGV* ) yang menurun. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dilakukan *Compressor Washing*. *Compressor Washing* ini bertujuan untuk membersihkan kompresor agar sebisa mungkin performa kembali seperti semula. Untuk mengetahui efisiensi *Compressor Washing*, maka dilakukan penelitian tentang pengaruh *Compressor Washing* terhadap kinerja kompresor dan kinerja turbin gas pada umumnya. Penelitian ini dilakukan pada saat sebelum dan sesudah *compressor washing* terhadap kompresor.

## METODE PENELITIAN

### 1. Siklus Turbin Gas

#### Proses 1-2 (kompresi)

Pada tahap 1-2 yaitu tahapan proses kompresi. Pada proses kompresi berlangsung, terjadi gesekan antara udara dan sudu-sudu kompresor. Temperatur udara keluar dari kompresor menjadi lebih tinggi dari proses ideal (isentropis), efisiensi kompresor menjadi lebih rendah sehingga kerja yang diperlukan untuk kompresi menjadi lebih besar. Jumlah kerja pada kompresor bisa dihitung dengan menggunakan tahapan rumus - rumus dibawah ini :

$$W_{ca} = m_a \cdot (h_2 - h_1) / \text{Efisiensi Kompresor} \quad (1)$$

Keterangan :

$W_{ca}$  = Kerja pada kompresor secara aktual (kcal/s)

$m_a$  = Laju aliran udara (kg/s)

$h_1$  = nilai aktual entalpi pada udara masuk kompresor (kcal/kg)

$h_2$  = nilai aktual entalpi pada udara keluar kompresor (kcal/kg)

Efisiensi kompresor = nilai efisiensi pada kompresor turbin gas (%)

Pada perhitungan aktual diperlukan nilai efisiensi kompresor. Karena pada perhitungan ini menggunakan kerugian-kerugian (losses) pada perhitungannya. Dimana untuk menghitung efisiensi kompresor dapat digunakan rumus berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Kompresor} &= h_2' - h_1 / h_2 - h_1 \quad (2) \\ &= c_p (t_2' - t_1) / c_p (t_2 - t_1) \\ &= t_{atm} [ (p_2/p_1)^{k-1/k} - 1 ] / t_2 - t_1 \end{aligned}$$

Keterangan :

Efisiensi kompresor = nilai efisiensi pada kompresor turbin gas (%)

$h_1$  = nilai aktual entalpi pada udara masuk kompresor (kcal/kg)

$h_2$  = nilai aktual entalpi pada udara keluar kompresor (kcal/kg)

$h_2'$  = nilai ideal entalpi pada udara keluar kompresor (kcal/kg)

Untuk menghitung kerja kompresor dengan memperhitungkan kerugian mekanik adalah sebagai berikut :

$$W_{Ke} = W_K / \eta_m \quad (3)$$

Keterangan :

$W_{Ke}$  = kerja kompresor dengan memperhitungkan kerugian mekanik (kJ/kg)

$W_K$  = kerja kompresor tanpa kerugian mekanik (kJ/kg)

$\eta_m$  = efisiensi mekanik ( 0,98 – 0,99 )

#### Proses 2-3 (pembakaran)

Pada tahap 2-3 yaitu tahapan proses pembakaran di ruang bakar. Pada proses pembakaran, terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan panas dengan bagian – bagian dari ruang bakar. Nilai kalor pada hasil pembakaran bisa dihitung dengan menggunakan tahapan rumus - rumus dibawah ini :

$$\begin{aligned} Q_{in} &= m_f \cdot LHV \quad (4) \\ m_f \cdot LHV &= (m_a + m_f) \cdot (h_3) - m_a \cdot h_2 \end{aligned}$$

Keterangan :

$Q_{in}$  = Nilai kalor keluar ruang bakar (kcal/s)  
 $m_f$  = laju aliran bahan bakar gas alam (kg/s)  
 $m_a$  = Laju aliran udara (kg/s)  
 LHV= low heat value (nilai kalor bersih pada gas alam) (kcal/kg)  
 $h_3$  = nilai aktual entalpi gas buang hasil pembakaran yang keluar ruang bakar (sebelum masuk ke turbin)

Karena laju aliran udara tidak diketahui nilai aktualnya, maka dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$m_a = (Q_{in} - m_f \cdot h_3) / (h_3 - h_2) \quad (5)$$

Keterangan:

$Q_{in}$  = Nilai kalor keluar ruang bakar (kcal/kg)  
 $m_f$  = laju aliran bahan bakar gas alam (kg/s)  
 LHV= low heat value (nilai kalor bersih pada gas alam) (kcal/kg)  
 $h_2$  = nilai aktual entalpi pada udara keluar kompresor (kcal/kg)  
 $h_3$  = nilai aktual entalpi gas buang hasil pembakaran yang keluar ruang bakar (sebelum masuk ke turbin) (kcal/kg)

$$B_N = m_{BB} / N_e \quad (6)$$

Keterangan:

$B_N$  = pemakaian bahan bakar spesifik (kg/kWh)  
 $m_{BB}$  = jumlah bahan bakar yang digunakan (kg/h)  
 $N_e$  = daya poros efektif turbin gas ( kWh )

### Proses 3-4 (ekspansi pada turbin)

Pada tahap 3-4 yaitu tahapan proses ekspansi pada turbin. Pada proses ekspansi berlangsung terjadi gesekan antara gas hasil pembakaran dengan sudu-sudu turbin, sehingga temperatur gas buang yang keluar dari turbin menjadi lebih tinggi dari pada gas ideal (isentropis). Jumlah kerja pada turbin bisa dihitung dengan menggunakan tahapan rumus - rumus dibawah ini :

$$W_{ta} = (m_a + m_f) \cdot (h_3 - h_4) \cdot (\text{Eff. Turbin}) \quad (7)$$

Keterangan:

$W_{ta}$  = Kerja pada turbin secara aktual (kcal/s)  
 $m_f$  = laju aliran bahan bakar gas alam (kg/s)  
 $m_a$  = Laju aliran udara (kg/s)  
 $h_3$  = nilai aktual entalpi gas buang hasil pembakaran yang keluar ruang bakar (sebelum masuk ke turbin) (kcal/kg)  
 $h_4$  = nilai aktual entalpi pada gas buang turbin gas (kcal/kg)  
 $h_4'$  = nilai ideal entalpi pada gas buang turbin gas (kcal/kg)  
 Efisiensi Turbin = nilai efisiensi pada turbin (%)

Pada perhitungan aktual diperlukan nilai efisiensi turbin. Karena pada perhitungan ini menggunakan kerugian-kerugian (losses) pada perhitungannya. Dimana untuk menghitung efisiensi turbin dapat digunakan rumus berikut ini :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Turbin} &= h_3 - h_4 / h_3 - h_4' \quad (8) \\ &= c_p (t_3 - t_4) / c_p (t_3 - t_4') \\ &= (t_3 - t_4) / t_3 (1 - t_4' / t_3) \\ &= (t_3 - t_4) / t_3 [1 - (p_4' / p_3)^{k-1/k}] \end{aligned}$$

Keterangan:

Efisiensi Turbin = nilai efisiensi pada turbin (%)  
 $h_3$  = nilai aktual entalpi gas buang hasil pembakaran yang keluar ruang bakar (sebelum masuk ke turbin) (kcal/kg)  
 $h_4$  = nilai aktual entalpi pada gas buang turbin gas (kcal/kg)  
 $h_4'$  = nilai ideal entalpi pada gas buang turbin gas (kcal/kg)  
 $t_3$  = temperatur aktual hasil pembakaran ( $^{\circ}\text{K}$ )  
 $t_4$  = temperatur aktual setelah keluar dari turbin ( $^{\circ}\text{K}$ )  
 $t_4'$  = temperatur ideal setelah keluar dari turbin ( $^{\circ}\text{K}$ )  
 $p_3$  = tekanan aktual hasil pembakaran ( bar )  
 $p_4'$  = tekanan ideal setelah keluar dari turbin ( bar )

### Efisiensi Thermal Turbin Gas

Untuk menghitung efisiensi thermal turbin gas secara keseluruhan, dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Thermal} = W_{ta} - W_{ca} / m_f \cdot \text{LHV} \quad (9)$$

Keterangan:

Efisiensi Thermal = Efisiensi turbin gas secara keseluruhan (%)

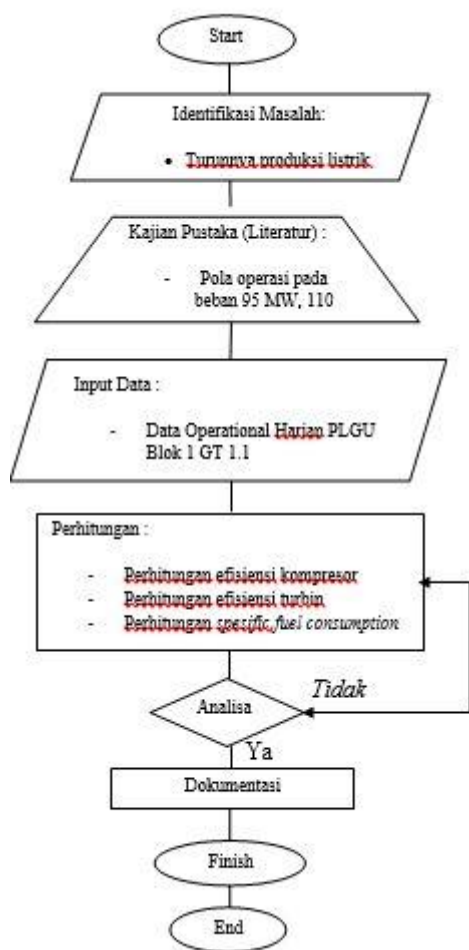
$W_{ta}$  = Kerja pada turbin secara aktual (kcal/s)

$W_{ca}$  = Kerja pada kompresor secara aktual (kcal/s)

$m_f$  = laju aliran bahan bakar gas alam (kg/s)

LHV = low heat value (nilai kalor bersih pada gas alam) (kcal/kg)

**Diagram Alir Penelitian**



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

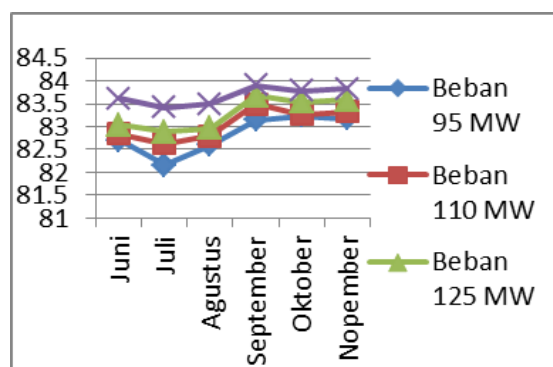
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari hasil penelitian dan perhitungan, maka didapatkan data perhitungan efisiensi kompresor sebagai berikut:

Tabel 1. Efisiensi *Compressor* Turbin Gas 1.1 periode Juni - November

Bulan	Beban
-------	-------

	95 MW	110 MW	125 MW	137 MW
Juni	82.70	82.84	83.04	83.62
Juli	82.16	82.63	82.88	83.41
Agustus	82.61	82.80	82.96	83.49
September	83.14	83.49	83.67	83.90
Oktober	83.23	83.27	83.54	83.78
November	83.18	83.32	83.78	83.82



Gambar 2. Efisiensi *Compressor* GT 1.1 terhadap load set

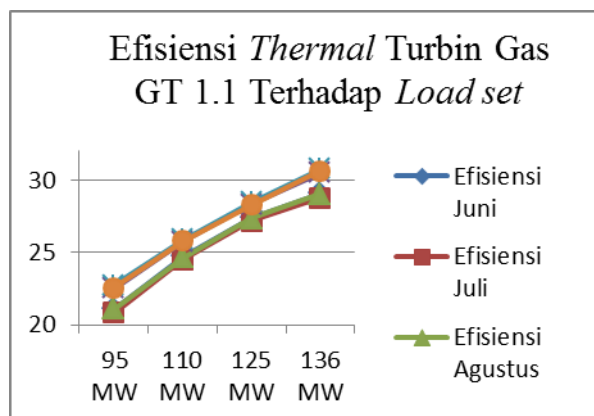
- Juni – Agustus ( Sebelum *Compressor Washing* )
- September – Nopember ( Sesudah *Compressor Washing* )

Hasil perhitungan efisiensi *thermal* adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Efisiensi *Thermal* Turbin Gas 1.1 periode Juni - November

Bulan	Beban			
	95 MW	110 MW	125 MW	137 MW
Juni	21.125	24.746	27.423	29.085
Juli	20.844	24.526	27.173	28.787
Agustus	21.119	24.643	27.383	29.058
September	22.543	25.760	28.349	30.520
Oktober	22.760	25.889	28.472	30.780

November	22.552	25.830	28.303	30.645
----------	--------	--------	--------	--------



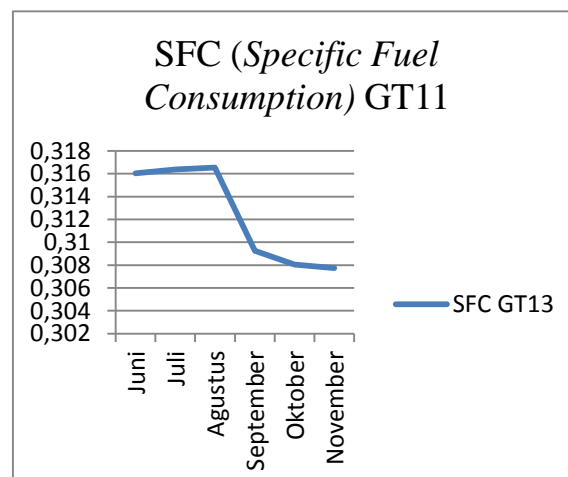
Gambar 3. Efisiensi *Thermal Turbin Gas* GT 1.1 terhadap *load set*

- Juni – Agustus (sebelum *Compressor Washing*)
- September – Nopember (sesudah *Compressor Washing*)

Hasil perhitungan SFC adalah sebagai berikut :

Tabel 3. SFC Turbin Gas GT 1.1 periode Juni - November

Bulan	Meter Produksi	Pemakaian BBG	SFC
	(kWh)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> /kWh)
Juni	73,717,000	23,296,360	0.31602425
Juli	88,180,000	27,896,610	0.31635983
Agustus	61,058,000	19,327,990	0.31655131
September	74,881,000	23,157,610	0.30925882
Oktober	84,495,000	26,029,020	0.30805397
November	41,079,000	12,641,980	0.307748



Gambar 4. Grafik SFC Turbin Gas GT 1.1 Periode Juni – November

- Juni – Agustus (sebelum *Compressor Washing*)
- September – Nopember (sesudah *Compressor Washing*)

#### Analisa Hasil Penelitian

Pada hasil perhitungan efisiensi kompresor, maka dapat diketahui bahwa:

Efisiensi kompresor periode Juni – Agustus 2015 mengalami penurunan sekitar 0,31%. Hal ini dikarenakan kondisi kompresor yang kotor, di tandai dengan pembukaan VIGV yang semakin tinggi dan tekanan setelah kompresor yang cenderung menurun.

Pada hasil perhitungan efisiensi *thermal*, maka dapat diketahui bahwa:

Efisiensi *thermal* periode Juni – Agustus 2015 tergolong rendah (< 30%), kecuali pada periode setelah *compressor washing* yaitu September - November pada beban 137 MW masih tergolong relatif baik (> 30%).

Pada hasil perhitungan SFC, maka dapat diketahui bahwa:

Terjadi penurunan nilai SFC pada bulan September 2015 yaitu  $\pm 0.0073$  m<sup>3</sup>/KWh yang berarti terjadi penurunan konsumsi bahan bakar setelah dilakukan *compressor washing gas turbine*.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada saat beban maksimal, Semakin tinggi pembukaan VIGV maka semakin tinggi Efisiensi kompresor dan semakin tinggi efisiensi *thermal*.
2. Performa kompresor sebelum dilakukan *Compressor Washing* pada bulan Juni-Agustus 2015 mengalami penurunan sekitar 0.31 %. Performa kompresor setelah dilakukan *Compressor Washing* mengalami kenaikan pada bulan September sekitar 0.53 %.
3. Efisiensi *thermal* GT 1.1 sebelum dilakukan *Compressor Washing* pada bulan Juni-Agustus 2015 mengalami penurunan tertinggi sekitar 0.039 %. Efisiensi *thermal* setelah dilakukan *Compressor Washing* mengalami kenaikan sekitar 1.461 %.
4. Perlu dilakukan penelitian secara berkelanjutan untuk dapat memonitoring kinerja turbin gas lebih mendalam pada area kompresor.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alstom, ABB., 1997, *Manual Book Gas Turbine*, Alstom-ABB, Indonesia.
- [2] Arismunandar, Wiranto, 2002, *Pengantar Turbin Gas dan Motor Propulsi*, Dirjen Dikti Depdiknas, Jakarta.
- [3] Budiono, Lukman. 2013. Analisis efisiensi turbin gas terhadap beban operasi PLGU Muara Tawar Blk 1. Jakarta: SINTEK. Vol 7. No. 2.
- [4] Cengel, Yunus A, 1994, *An Engineering Approach*, McGraw-Hill companies, Atlanta.
- [5] Meherwan, P.B., 2<sup>nd</sup> Edition, *Gas Turbine Hand Book*, Gulf-Professional-Publishing, United States of America.
- [6] Sunarwo. 2016. Analisa Efisiensi Turbin Gas Unit 1 Sebelum dan Sesudah Overhaul Combuster Inspection Di PT PLN ( Persero ) Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon. Semarang: Jurnal Teknik Energi. Vol. 12. No. 2.

- [7] Suryani, F Cahyadi. 2006. Analisis efektifitas sistem pembangkit listrik tenaga gas dan uap ( PLTGU ) Pada PT. ENergi Sengkang. Makasar: Jurnal ILTEK. Vol. 1. No. 2.