

**ANALISIS KINERJA TURBIN GAS M701F5 SETELAH MASA KONSTRUKSI
MENGUNAKAN STANDAR ISO 2314:2009 UNTUK DIBANDINGKAN
DENGAN DESAIN PABRIKAN DAN *PERFORMANCE GUARANTEE*
PADA PLTGU MUARAKARANG**



**BUDI ARI WIBOWO
NIM: 41319110075**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCUBUANA
JAKARTA 2021**

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA TURBIN GAS M701F5 SETELAH MASA KONSTRUKSI
MENGUNAKAN STANDAR ISO 2314:2009 UNTUK DIBANDINGKAN
DENGAN DESAIN PABRIKAN DAN *PERFORMANCE GUARANTEE*
PADA PLTGU MUARAKARANG



Disusun oleh :

Nama : Budi Ari Wibowo
NIM : 41319110075
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM STUDI STRATA SATU
MARET 2021

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KINERJA TURBIN GAS M701F5 SETELAH MASA KONSTRUKSI
MENGUNAKAN STANDAR ISO 2314:2009 UNTUK DIBANDINGKAN
DENGAN DESAIN PABRIKAN DAN *PERFORMANCE GUARANTEE*
PADA PLTGU MUARAKARANG



Disusun oleh :

Nama : Budi Ari Wibowo
NIM : 41319110075
Program Studi : Teknik Mesin

UNIVERSITAS

Telah diperiksa dan disetujui oleh pembimbing

Pada tanggal : Maret 2021

MERCU BUANA

Mengetahui

Dosen Pembimbing

Agung Wahyudi Biantoro, ST, MT, MM

NIP. DTT15020

Koordinator Tugas Akhir



Anel Avicenna Luthfie, ST, M.Eng

NIP. 216910097

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Budi Ari Wibowo

NIM : 41319110075

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Tugas Akhir : Analisis Kinerja Turbin Gas M701F5 setelah Masa Konstruksi Menggunakan Standar ISO 2314:2009 untuk Dibandingkan dengan Desain Pabrik dan *Performance Guarantee* pada PLTGU Muarakarang

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Jakarta, Maret 2021



Budi Ari Wibowo

PENGHARGAAN

Alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala berkah dan karunia yang tak terhingga dan tak lupa shalawat dan salam kepada Baginda Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabatnya yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah ke zaman yang penuh ilmu pengetahuan dan teknologi seperti saat ini sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir berjudul analisis kinerja turbin gas M701F5 setelah masa konstruksi menggunakan standar ISO 2314:2009 untuk dibandingkan dengan desain pabrikan dan *performance guarantee* pada PLTGU Muarakarang. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ngadino Surip, MS selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Dr. Ir. Mawardi Amin, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Bapak Dr. nanang Ruhyat, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
4. Bapak Alief Avicenna Luthfie, ST, M.Eng. selaku Koordinator Tugas kahir Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
5. Bapak Agung Wahyudi Biantoro, ST, MT, MM, selaku dosen pembimbing yang telah membantu penulis dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
6. Almarhum kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Ari Kurniadi selaku Manajer Proyek PLN UPP PJBB 2 yang banyak membantu dalam memberikan masukan dan data-data dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
8. Rekan-rekan PLN UPP PJBB 2 yang banyak membantu dalam memberikan masukan dan data-data dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
9. Rekan-rekan Program Studi Teknik Mesin yang banyak memberikan dukungan dan semangat dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap mudah-mudahan Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat, khususnya kepada saya pribadi selaku penulis dan umumnya bagi semua pembaca. Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih bisa untuk disempumakan lagi, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat berharga bagi penulis untuk memperbaiki laporan di masa yang akan datang.

Jakarta, Maret 2021


Budi Ari Wibowo

ABSTRAK

Pembangunan PLTGU Muarakarang yang dimulai pada tahun 2017 merupakan bagian dari program 35 GW yang dicanangkan pemerintah. PLTGU Muarakarang menggunakan turbin gas tipe M701F5 dengan pabrikan MHPS Jepang dengan kapasitas 341.300 kW, NPHR sebesar 2.129 kCal/kWh dan efisiensi sebesar 40,35%. Penurunan kinerja bisa terjadi karena adanya perbedaan kondisi lingkungan antara pabrikan dan *site project* serta adanya kerusakan saat proses transportasi dan perakitan yang menyebabkan kinerja turbin gas tidak sesuai dengan desain pabrikan dan *performance guarantee*. Sehingga diperlukan analisis kinerja turbin gas setelah proses konstruksi selesai dengan metode perhitungan *input output* serta merujuk standar ISO 2314:2009. Dari hasil perhitungan diperoleh *Nett GT Output* 345.721 kW dan NPHR sebesar 2.099,7 kcal/kWh, lebih tinggi dan lebih efisien dari desain pabrikan dan *performance guarantee*. Dan efisiensi siklus sebesar 41,86%, lebih tinggi 1,51 % dari desain pabrikan sebesar 40,35%. Ini berarti turbin gas tidak mengalami penurunan kinerja dan telah memenuhi *performance guarantee* serta hasil perhitungan ini dapat dijadikan referensi untuk evaluasi kinerja turbin selanjutnya.

Kata Kunci: *gas turbine, performance test, performance guarantee, ISO 2314:2009, nett GT output, NPHR.*



**M701F5 GAS TURBINE PERFORMANCE ANALYSIS AFTER
CONSTRUCTION PERIODE USING ISO 2314:2009 FOR COMPARISON
WITH PERFORMANCE GUARANTEE AT MUARAKARANG CCPP**

ABSTRACT

The construction of Muarakarang CCPP, which began in 2017, is part of the 35 GW program launched by the government. Muarakarang CCPP uses a gas turbine type M701F5 manufactured by MHPS Japan with a capacity of 341,300 kW, an NPHR of 2,129 kCal/kWh and an efficiency of 40.35%. A decrease in performance can occur due to differences in environmental conditions between the manufacturer and the project site as well as damage during the transportation and assembly processes which causes the performance of the gas turbine to not match the manufacturer's design and performance guarantee. So it is necessary to analyze the performance of the gas turbine after the construction process is complete by using the input output calculation method and referring to the ISO 2314: 2009 standard. From the calculation results obtained Nett GT Output 345,721 kW and NPHR of 2,099.7 kcal/ kWh, higher and more efficient than the manufacturer's design and performance guarantee. And the efficiency obtained is 41.86%, which is 1.51% higher than the factory design of 40.35%. This means that the gas turbine has not experienced a decline in performance and has met the performance guarantee and the results of this calculation can be used as a reference for further evaluation of turbine performance.

Keywords: gas turbine, performance test, performance guarantee, ISO 2314: 2009, nett GT output, NPHR.



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	2
1.3. TUJUAN	2
1.4. BATASAN DAN RUANG LINGKUP MASALAH	3
1.5. SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. PENELITIAN TERDAHULU	4
2.2. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS UAP (PLTGU)	5
2.3. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS (PLTG)	7
2.3.1. Dasar Turbin Gas	8
2.3.2. Prinsip Kerja Turbin Gas	9
2.3.3. Siklus-Siklus Turbin Gas	11
2.3.4. Komponen Utama Turbin Gas	11

2.3.5	Komponen Penunjang Turbin Gas	21
2.3.6	Siklus Brayton	24
2.4	STANDAR UJI TURBIN GAS ISO 2314:2009	30
2.4.1	Net Power Output	32
2.4.2	NPHR (Net plant Heat Rate)	32
2.4.3	Faktor Koreksi	33
2.5	MANAJEMEN KESELAMATAN KERJA	42
BAB III	METODOLOGI	44
3.1.	DIAGRAM ALIR	44
3.2.	ALAT DAN BAHAN	49
3.2.1.	Alat	49
3.2.2.	Bahan	52
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1.	PERHITUNGAN KINERJA TURBIN GAS M701F5 PLTGU MUARAKARANG PADA BEBAN 100%	56
4.1.1.	Perhitungan Kerja Kompresor	59
4.1.2.	Perhitungan Kerja Turbin	60
4.1.3.	Kerja Bersih Turbin	60
4.1.4.	Efisiensi Siklus	60
4.1.5.	Kerja Turbin Generator	61
4.2.	PERHITUNGAN KINERJA BERDASARKAN ISO 2314:2009	61
4.2.1.	Faktor Koreksi	62
4.2.2.	Daya Bersih Aktual Pengukuran.	68
4.2.3.	Kerja Bersih Turbin Generator Perhitungan.	69
4.2.4.	Net Plant Heat Rate (NPHR)	69

4.3	PEMBAHASAN	71
BAB V	PENUTUP	75
5.1	KESIMPULAN	75
5.2	SARAN	75
DAFTAR PUSTAKA		77
LAMPIRAN		79



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 PLTGU Jawa 2 800 MW	6
Gambar 2. 2 Siklus PLTGU	6
Gambar 2. 3 PLTG Belawan 45 MW PLN	8
Gambar 2. 4 Turbin Gas MHPS M701F	8
Gambar 2. 5 Siklus Turbin Gas	9
Gambar 2. 6 Siklus Turbin Gas PLTGU Muarakang	10
Gambar 2. 7 Enam <i>Casing</i> dan Lima <i>Section</i> Turbin Gas M701F5	12
Gambar 2. 8 <i>Inlet Casing</i> Turbin Gas M701F5	12
Gambar 2. 9 Bagian-Bagian <i>Inlet Casing</i> Turbin Gas M701F5	13
Gambar 2. 10 Penampang Bagian Kompresor	13
Gambar 2. 11 <i>Inlet Guide Vane</i> (IGV)	14
Gambar 2. 12 Sistem <i>Anti Surge</i> Kompresor	15
Gambar 2. 13 Ruang Bakar Turbin Gas	15
Gambar 2. 14 Bagian Pembakaran	16
Gambar 2. 15 Pembakaran di Ruang Bakar	16
Gambar 2. 16 Konstruksi <i>Combustion Chamber</i>	17
Gambar 2. 17 Bagian-Bagian <i>Combustion Chamber</i>	17
Gambar 2. 18 <i>Fuel Nozzle</i>	18
Gambar 2. 19 <i>Transition Piece</i>	18
Gambar 2. 20 <i>Igniter & Flame Detector</i>	19
Gambar 2. 21 <i>Cross Flame Tube</i>	19
Gambar 2. 22 <i>Turbine Blade</i>	20
Gambar 2. 23 <i>Turbine Blade</i>	20
Gambar 2. 24 <i>Turbine Vane</i>	21
Gambar 2. 25 <i>Fuel Gas System</i> PLTGU Muarakang	22
Gambar 2. 26 <i>Lube Oil System</i>	23
Gambar 2. 27 <i>Control Oil System</i>	23
Gambar 2. 28 <i>Cooling Water System</i>	24
Gambar 2. 29 Siklus Turbin Gas	25
Gambar 2. 30 Diagram P-V dan T-S Siklus Brayton	25
Gambar 2. 31 Faktor Koreksi <i>Output</i> dan <i>Heat Rate</i> Terhadap Temperatur Udara.	35
Gambar 2. 32 Faktor Koreksi <i>Output</i> dan <i>Heat Rate</i> Terhadap Tekanan Atmosfer.	36

Gambar 2. 33 Faktor Koreksi <i>Output</i> dan <i>Heat Rate</i> Terhadap Kelembaban Udara.	37
Gambar 2. 34 Faktor Koreksi <i>Output</i> Terhadap LHV.	38
Gambar 2. 35 Faktor Koreksi <i>Heat Rate</i> Terhadap LHV.	38
Gambar 2. 36 Faktor Koreksi <i>Output</i> dan <i>Heat Rate</i> Terhadap Frekuensi.	39
Gambar 2. 37 Faktor Koreksi <i>Output</i> dan <i>Heat Rate</i> Terhadap <i>Generator Power Factor</i> .	40
Gambar 2. 38 Faktor Koreksi <i>Output</i> dan <i>Heat Rate</i> Terhadap Degradasi Mesin.	41
Gambar 2. 39 Rambu-Rambu K3 PLTGU Muarakarang	43
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	45
Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengambilan Data	48
Gambar 3. 3 Komputer ACS	50
Gambar 3. 4 <i>Digital Power Meter</i>	50
Gambar 3. 5 <i>Watt Hour Meter</i>	51
Gambar 3. 6 <i>Flue Gas Exhaust & Temperature</i>	51
Gambar 3. 7 Data Operasi Turbin Gas Pada Beban 100%	54
Gambar 4. 1 <i>Heat Balance</i> Turbin Gas 3.1 PLTGU Muarakarang	56
Gambar 4. 2 <i>P-V</i> dan <i>T-S</i> Diagram	56
Gambar 4. 3 Perbandingan <i>Gross GT Output</i>	72
Gambar 4. 4 Perbandingan <i>Net GT Output (Corected)</i>	73
Gambar 4. 5 Perbandingan <i>Net Plant Heat Rate (NPHR)</i>	73
Gambar 4. 6 Perbandingan Efisiensi Siklus	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Performance Guarantee Paramaters</i>	30
Tabel 2. 2 Kriteria Desain PLTGU Muarakarang	31
Tabel 2. 3 Karakteristik <i>Fuel gas</i>	31
Tabel 2. 4 Tabel Hirach Pekerjaan Pengawasan Proyek	43
Tabel 3. 1 Data dan Parameter Hasil Pengukuran	52
Tabel 3. 2 <i>Auxilliary Power Consumption</i>	53
Tabel 4. 1 Konversi Data Parameter.	55
Tabel 4. 2 Tabel Perhitungan Faktor Koreksi Terhadap Temperatur Atmosfer.	62
Tabel 4. 3 Tabel Perhitungan Faktor Koreksi Terhadap Tekanan Udara Lingkungan.	63
Tabel 4. 4 Tabel Perhitungan Faktor Koreksi Terhadap Kelembaban Udara.	64
Tabel 4. 5 Tabel Perhitungan Faktor Koreksi Terhadap <i>fuel</i> LHV Bahan Bakar.	65
Tabel 4. 6 Tabel Perhitungan Faktor Koreksi Terhadap Frekuensi	66
Tabel 4. 7 Tabel Perhitungan Faktor Koreksi Terhadap Faktor Daya ($\cos\theta$)	67
Tabel 4. 8 Tabel Perhitungan Faktor Koreksi Terhadap Degradasi	68
Tabel 4. 9 Data Hasil Pengukuran	70
Tabel 4. 10 Data Analisis Properti Gas oleh PT Sucofindo	70
Tabel 4. 11 Data Teknis <i>Turbine Flowmeter</i>	71
Tabel 4. 12 Perbandingan Kinerja Turbin Gas	71

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
P	Beban
T_1	Temperatur udara lingkungan
T_2	Temperatur udara tekan
T_3	Temperatur masuk turbin
T_{2s}	Temperatur udara tekan sistem
T_4	Temperatur gas buang
T_{4s}	Temperatur udara buang sistem
P_1	Tekanan udara lingkungan
P_2	Tekanan Udara kompresi kompresor
P_{2s}	Temperatur udara tekan sistem
P_3	Tekanan ruang bakar
h_1	Entalpi udara masuk
h_2	Entalpi udara tekan
W_k	Kerja kompresor aktual
W_c	Kerja kompresor
η_k	Efisiensi kompresor
W_t	Kerja turbin aktual
η_t	Efisiensi turbin
W_n	Kerja bersih turbin
η_{siklus}	Efisiensi siklus
Q_{in}	Energi masuk
H_t	Efisiensi turbin
ρ_{fuel}	Berat jenis bahan bakar
\dot{m}_{bb}	Laju aliran massa bahan bakar
\dot{m}_{udara}	Laju aliran massa udara
cp	<i>Specific heat combustion product</i>
ρ_{udara}	Berat jenis udara
η_{gen}	Efisiensi Generator
KW_{GTNM}	<i>Gas turbine net power output (calculated)</i>

KW_{GTGM}	<i>Gas turbine gross power output (measured)</i>
KW_{GT}	<i>Gas turbine net power output (corrected)</i>
AP_{GT}	<i>Auxiliary power consumption (measured)</i>
LM_{GT}	<i>Loss of transformer (calculated)</i>
LA_{GT}	<i>Loss of aux. transformer (calculated)</i>
K_1	Faktor koreksi untuk temperatur udara masuk terhadap beban
K_2	Faktor koreksi tekanan udara luar terhadap beban
K_3	Faktor koreksi untuk kelembaban udara terhadap beban
K_4	Faktor koreksi untuk karakteristik bahan bakar terhadap beban
K_5	Faktor koreksi frekuensi terhadap beban
K_6	Faktor koreksi untuk <i>power factor</i> terhadap beban
K_d	Faktor koreksi degradasi terhadap beban
W_{tg}	Kerja bersih turbin generator
W_{tgk}	Kerja bersih turbin generator koreksi
HR_{GTNM}	<i>Heat rate</i>
FC_{GT}	<i>Fuel flow rate</i>
LHV	<i>Lower heating value</i>
KW_{GTNM}	<i>Gas turbine net power output (calculated)</i>
Q_f	Debit aliran bahan bakar
C_1	Faktor koreksi untuk temperatur udara masuk terhadap NPHR
C_2	Faktor koreksi tekanan udara luar terhadap NPHR
C_3	Faktor koreksi untuk kelembaban udara terhadap NPHR
C_4	Faktor koreksi untuk karakteristik bahan bakar terhadap NPHR
C_5	Faktor koreksi frekuensi terhadap NPHR
C_6	Faktor koreksi untuk <i>power factor</i> terhadap NPHR
Gd	faktor koreksi degradasi mesin terhadap NPHR

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
SUTET	Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi
SUTT	Saluran Udara Tegangan Tinggi
IPP	<i>Independent Power Producer</i>
PPU	<i>Public Private Utility</i>
NPHR	<i>Nett Plant Heat Rate</i>
RUPTL	Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik
MCR	<i>Maximum Continuous Rating</i>
LHV	<i>Lower Heating Value</i>
IPB	<i>Isolated Phase Bus</i>
SLO	Sertifikat Layak Operasi
ISO	<i>International Organization For Standardization</i>
PLTGU	Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap
ACS	<i>Acquiring Saving</i>
BTU	<i>British Thermal Unit</i>
kWh	<i>Kilo Watt Hour</i>
MW	<i>Mega Watt</i>
GT	<i>Gas Turbine</i>
GTG	<i>Gas Turbine Generator</i>
HRSG	<i>Heat Recovery Steam Generator</i>
PLTG	Pembangkit Listrik Tenaga Gas
PLN	Perusahaan Listrik Negara
MHPS	Mitsubishi Hitachi Power System
IGV	<i>Inlet Guide Vane</i>
JSA	<i>Job Safety Analiysis</i>
HIRAC	<i>Hazzard Identification Risk Assesment Determining Control</i>
APD	Alat Pelindung Diri
AOH	<i>Actual Operating Hours</i>
RPM	Rotasi Per Menit