

**ANALISIS PENGARUH ROTOR CLEARANCE PADA HIGH PRESSURE
COMPRESSOR DAN HIGH PRESSURE TURBINE TERHADAP
PENURUNAN EXHAUST GAS TEMPERATURE
MARGIN PADA MESIN CFM56-3C1**



FIKRI AULIA IZZATUR RAHIM
NIM: 41319120127

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2022

ANALISIS PENGARUH ROTOR CLEARANCE PADA HIGH PRESSURE
COMPRESSOR DAN HIGH PRESSURE TURBINE TERHADAP
PENURUNAN EXHAUST GAS TEMPERATURE
MARGIN PADA MESIN CFM56-3C1



Disusun oleh:

Nama : Fikri Aulia Izzatur Rahim
NIM : 41319120127
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
AGUSTUS 2022

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH *ROTOR CLEARANCE* PADA *HIGH PRESSURE COMPRESSOR* DAN *HIGH PRESSURE TURBINE* TERHADAP PENURUNAN *EXHAUST GAS TEMPERATURE MARGIN* PADA MESIN CFM56-3C1

Disusun oleh:

Nama : Fikri Aulia Izzatur Rahim
NIM : 41319120127
Program Studi : Teknik Mesin

Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal 05 Agustus 2022

Telah dipertahankan di depan penguji,

Pembimbing TA



(Ade Firdianto, M. Eng.)

NIK/NIP: 186490142

Penguji Sidang I



(Alief Avicenna Luthfie, ST., M.Eng.)

NIK/NIP: 216910097

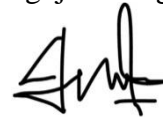
Penguji Sidang II



(Dafit Feriyanto, S.T., M.Eng., Ph.D.)

NIK/NIP: 118900633

Penguji Sidang III



(Gilang Awan Yudhistira, S.T, M.T.)

NIK/NIP: 221900211

Mengetahui,

Kaprodi Teknik Mesin



(Muhammad Fitri, S.T, M.Si, Ph.D.)

NIK/NIP: 118690617

Koordinator TA



(Alief Avicenna Luthfie, ST., M.Eng.)

NIK/NIP: 216910097

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Fikri Aulia Izzatur Rahim
NIM : 41319120127
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Tugas Akhir : Analisis Pengaruh *Rotor Clearance* pada *High pressure Compressor* dan *High pressure Turbine* Terhadap Penurunan *Exhaust Gas Temperature Margin* pada Mesin CFM56-3C1

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.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 05 Agustus 2022



(Fikri Aulia Izzatur Rahim)

PENGHARGAAN

Segala puji bagi Tuhan YME yang telah memberikan karunia Rahmat serta Hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi di Universitas Mercu buana. Ucapan terima kasih ini dipersembahkan untuk orang-orang yang telah berjasa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Muhamad Fitri, Ph.D, selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin.
2. Alief Avicenna Luthfie, ST., M.Eng, selaku Sekretaris Program Studi dan Koordinator Tugas Akhir.
3. Gian Villany Golwa, ST., MT, selaku Koordinator Laboratorium Program Studi Teknik Mesin.
4. Bapak Ade Firdianto, M. Eng, selaku pembimbing Tugas Akhir.
5. Kedua orang tua yang telah mendukung, membantu, dan mendoakan saya.
6. Jetika Aprulita yang selalu mendukung, membantu, dan mendoakan saya.
7. Rekan-rekan tim *Engine Shop* PT. GMFAeroasia yang membantu saya menyediakan fasilitas dan dukungan dalam penulisan tugas akhir.

Masih banyak lagi pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebut. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dari tugas akhir ini, maka penulis menerima kritik dan saran guna menyempurnakan tugas akhir ini. Semoga Tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan mahasiswa, dan untuk semua pihak yang membaca tugas akhir ini.

Jakarta, 05 Agustus 2022



(Fikri Aulia Izzatur Rahim)

ABSTRAK

Mesin pesawat harus selalu diperiksa kinerjanya dengan memperhatikan parameter-parameter mesin dan melakukan pemeliharaan untuk menjaga kondisi pesawat laik terbang. Parameter yang paling penting dari mesin adalah *Exhaust Gas Temperature Margin* (EGTM) yang merupakan selisih antara batas maksimum suhu pada mesin dengan suhu aktual yang terbaca pada saat *take-off*. Pada mesin CFM56-3C1 dengan *serial number* 856745 dilakukan tes untuk mengetahui kondisi performa mesin yang hasilnya menunjukkan bahwa mesin memiliki nilai *EGT Margin* sebesar -10.9°C dan telah turun 26.2°C dari perbaikan mesin yang terakhir. Dari hasil pengetesan tersebut mesin perlu dilakukan perbaikan performa *EGT Margin* dengan melaksanakan perbaikan pada tingkat *performance workscope* yaitu perbaikan pada *clearance* atau jarak antara *rotor* pada *High Pressure Compressor* (HPC) dengan *compressor case* dan jarak *rotor* pada *High Pressure Turbine* (HPT) dengan *turbine shroud/stator* yang dapat menyebabkan penurunan nilai *EGT Margin* atau disebut *EGT Effect*. Perhitungan *EGT Effect* perlu dilakukan untuk mencari seberapa besar kontribusi ketidaksesuaian *clearance rotor* pada HPC dan HPT terhadap penurunan nilai *EGT*. Penurunan *EGT Margin* yang dipengaruhi *rotor clearance* dapat dihitung dari pengukuran aktual *clearance* dikurangi dengan ukuran *clearance* maksimum yang telah ditetapkan pabrik dan dikalikan dengan nilai *EGT Effect* per mils/microinch dari setiap *stage*. Dari perhitungan didapatkan nilai penurunan *EGT Margin* pada HPT sebesar $7,4332^{\circ}\text{C}$ dan penurunan nilai *EGT Margin* pada HPC adalah 7.792785°C dengan total penurunan nilai *EGT Margin* akibat *clearance* pada HPC dan HPT adalah $15,225985^{\circ}\text{C}$ atau berkontribusi sebesar 58,1% terhadap penurunan nilai *EGT Margin* sejak perbaikan mesin yang terakhir.

Kata Kunci: *Rotor clearance, Exhaust Gas Temperatur Margin, CFM56-3C1*

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

**ANALYSIS THE EFFECT OF ROTOR CLEARANCE ON HIGH PRESSURE
COMPRESSOR AND HIGH PRESSURE TURBINE ON EXHAUST GAS
TEMPERATURE MARGIN ON CFM56-3**

ABSTRACT

The aircraft engine shall always be checked for performance by paying attention to engine parameters and performs maintenance to maintain the condition of the aircraft. The most important parameter of the engine is Exhaust Gas Temperature Margin (EGTM) which is the difference between the maximum temperature limit on the mesin and the actual temperature read at the time of take-off. On the CFM56-3C1 engine with serial number 856745, a test was carried out to determine the condition of the engine's performance, the results showed that the engine has an EGT Margin -10.9 °C and has decreased by 26.2 °C from the last engine repair. From the results, it is necessary to improve the performance of the EGT Margin engine by carrying out improvements to the workscope performance level, namely improvements to the clearance or distance between the rotor on the High pressure Compressor and the compressor case and the distance of the rotor on the High Pressure Turbine with the turbine shroud/stator which can cause a decrease in the value EGT Margin or called EGT Effect. EGT Effect calculation needs to be done to find out how big the contribution of the rotor clearance mismatch on HPC and HPT to the decrease in EGT value. The Margin affected by rotor clearance can be calculated from the actual clearance measurement minus the maximum clearance size that the factory has set and multiplied by the EGT Effect value per mils/microinch of each stage. From these calculations, we can identify the correlation of how much clearance Effect has on the EGT Margin deterioration. From the calculation, the decrease in EGT Margin value on HPT is 7.4332 °C and the decrease in EGT Margin value on HPC is 7.792785 °C with a total decrease in EGT Margin value due to clearance on HPC and HPT is 15.225985 °C or contributes 58.1 % of the decrease in the value of EGT Margin since the last mesin repair.

Keywords: Rotor clearence, Exhaust Gas Temperatur Margin, CFM56-3C1

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SINGKATAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	2
1.3. TUJUAN	3
1.4. MANFAAT	3
1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	3
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. PENELITIAN TERDAHULU	5
2.2. MESIN GAS TURBIN	6
2.3. MESIN CFM56-3	9
2.4. <i>HIGH PRESSURE COMPRESSOR</i>	12
2.5. <i>HIGH PRESSURE TURBINE</i>	13
2.6. <i>EXHAUST GAS TEMPERATURE MARGIN (EGTM)</i>	14
2.7. <i>ENGINE SHOP MANUAL (ESM)</i>	16
2.8. <i>WORKSCOPE PLANNING GUIDE</i>	16
2.9. PERHITUNGAN EGT <i>EFFECT</i> PADA HPC	17

2.10.	PERHITUNGAN EGT <i>EFFECT</i> PADA HPT	19
2.11.	<i>BOROSCOPE INSPECTION</i>	20
BAB III METODOLOGI		21
3.1.	DIAGRAM ALIR	21
3.2.	ALAT DAN BAHAN	22
3.3.	PENGETESAN NILAI EGT	25
3.4.	ANALISIS DATA PENURUNAN NILAI EGT	25
3.5.	PENGAMBILAN DATA DAN PENGUKURAN	26
3.6.	PERHITUNGAN DATA	28
3.7.	PERHITUNGAN LAJU KEAUSAN DAN PERBAIKAN <i>ROTOR</i>	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		30
4.1.	DATA EGT	30
4.2.	PERHITUNGAN EGT <i>EFFECT</i> HPC	31
4.3.	PERHITUNGAN EGT <i>EFFECT</i> HPT	34
4.4.	PEMBAHASAN PENURUNAN NILAI EGT <i>MARGIN</i>	35
4.5.	LAJU KEAUSAN DAN PERBAIKAN PADA <i>ROTOR CLEARANCE</i>	38
4.6.	HUBUNGAN EFISIENSI HPC DAN <i>ROTOR CLEARANCE</i>	44
BAB V PENUTUP		47
5.1.	KESIMPULAN	47
5.2.	SARAN	47
DAFTAR PUSTAKA		48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Siklus Brayton	7
Gambar 2.2. Konstruksi Mesin Gas Turbin	8
Gambar 2.3. CFM56-3	10
Gambar 2.4. Modul Utama CFM56-3	11
Gambar 2.5. Grafik Tekanan dan Kecepatan Udara di Kompresor	12
Gambar 2.6. HPC <i>Case</i> (kiri) dan HPC <i>Rotor</i> (kanan)	13
Gambar 2.7. HPT <i>Rotor</i>	14
Gambar 2.8. HPT <i>Shroud</i>	14
Gambar 2.9. EGT <i>Redline</i>	15
Gambar 2.10. <i>Boroscope Inspection</i>	20
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3.2. <i>Test Cell</i>	23
Gambar 3.3. <i>Coordinate Measuring Machine</i>	23
Gambar 3.4. Mesin <i>High Speed Grinding</i>	24
Gambar 3.5. Mesin Las GTAW	24
Gambar 3.6. <i>Sub module Core</i>	26
Gambar 3.7. Pengukuran Radius HPT <i>Shroud</i>	27
Gambar 3.8. Penggabungan HPC <i>Rotor</i> dan HPT <i>Rotor</i>	27
Gambar 3.9. HPC <i>Rotor Clearance</i>	28
Gambar 4.1. Erosi pada <i>Blade</i> HPT	36
Gambar 4.2. Hasil Pengukuran Keporosan HPC (a) dan HPT (b)	37
Gambar 4.3. Hasil Pembersihan Pada <i>Blade</i>	40
Gambar 4.4. Penempatan <i>Blade</i> pada <i>Block</i> pengelasan.	40
Gambar 4.5. Arah Pengelasan	40
Gambar 4.6. <i>Welding</i> pada Ujung <i>Blade</i>	41
Gambar 4.7. Hasil NDT	41
Gambar 4.8. Hasil <i>Welding</i> Pada <i>Tip Blade</i>	41
Gambar 4.9. Pembentukan <i>Airfoil</i>	42
Gambar 4.10. <i>Aerodynamic Station</i>	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2.2. Spesifikasi CFM56-3	11
Tabel 2.3. EGT <i>Effect</i> HPC	17
Tabel 2.4. Maksimum <i>Clearance</i> antara HPC <i>Rotor</i> dan HPC Case	18
Tabel 2.5. Rekomendasi Nilai <i>Clearance</i> J05	20
Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Dimensi HPC	31
Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Aktual <i>Clearance</i> HPC	32
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan EGT <i>Effect</i> HPC	34
Tabel 4.4. Hasil Pengukuran Dimensi HPT	34
Tabel 4.5. Laju Keausan HPC <i>rotor</i> dan HPT <i>rotor</i>	38
Tabel 4.6. Perbaikan Penambahan Panjang <i>Blade</i>	39
Tabel 4.7. Hasil Perbaikan HPC <i>Rotor</i>	42
Tabel 4.8. Hasil Perbaikan HPC <i>Rotor</i>	43
Tabel 4.9. Pengaruh Perbaikan Pada EGT	43
Tabel 4.10. Parameter Hasil <i>Test</i>	44

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
HPC	<i>High pressure Compressor</i>
HPT	<i>High pressure Turbine</i>
EGT	<i>Mesin Gas Temperature</i>
EGTM	<i>Mesin Gas Temperature Margin</i>
MRO	<i>Maintenance Repair Overhaul</i>
TSLSV	<i>Time Since Last Shop Visit</i>
CSLSV	<i>Cycle Since Last Shop Visit</i>

