

**ANALISIS *AIR MODE* PADA *EXHAUST GAS TEMPERATURE MARGIN*
TERHADAP *HIGH PRESSURE COMPRESSOR CLEARANCE CONTROL*
MESIN *TURBOFAN CFM 56-3C* PESAWAT *BOEING 737 CLASSIC***



AHMAD FAUZI
NIM: 41320120010

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2022

**ANALISIS *AIR MODE* PADA *EXHAUST GAS TEMPERATURE MARGIN*
TERHADAP *HIGH PRESSURE COMPRESSOR CLEARANCE CONTROL*
MESIN *TURBOFAN CFM 56-3C* PESAWAT *BOEING 737 CLASSIC***



Disusun oleh:

Nama : Ahmad Fauzi
NIM : 41320120010
Program Studi : Teknik Mesin

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

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS AIR MODE PADA EXHAUST GAS TEMPERATURE MARGIN
TERHADAP HIGH PRESSURE COMPRESSOR CLEARANCE CONTROL MESIN
TURBOFAN CFM 56-3C PESAWAT BOEING 737 CLASSIC

Disusun oleh:

Nama : Ahmad Fauzi

NIM : 41320120010

Program Studi : Teknik Mesin

Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal 1 Agustus 2022

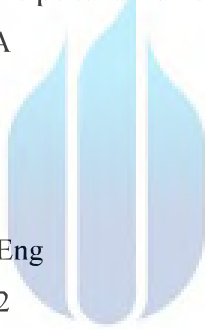
Telah dipertahankan di depan penguji,

Pembimbing TA



Ade Firdianto, M.Eng

NIP: 186490142



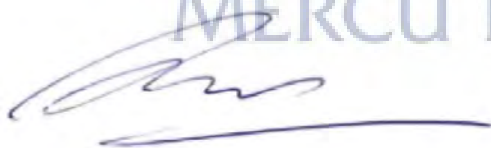
Penguji Sidang I



Haris Wahyudi, M.Sc

NIP: 116780510

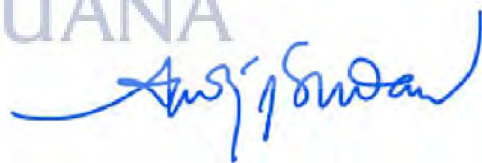
Penguji Sidang II



Dr. Eng. Deni Shidqi K.

NIP: 216890126

Penguji Sidang III



Andi Firdaus S., M.Eng

NIP: 119810645

Mengetahui,


Kaprodi Teknik Mesin



Muhamad Fitri, Ph.D

NIP: 118690617

Koordinator TA



Alief Avicenna Luthfie, M.Eng

NIP: 216910097

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Ahmad Fauzi
NIM : 41320120010
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Tugas Akhir : Analisis *Air mode* Pada *Exhaust Gas Temperature Margin*
Terhadap *High Pressure Compressor Clearance Control*
Mesin Turbofan CFM 56-3C Pesawat Boeing 737 Classic

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 Mercubuana.

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

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 1 Agustus 2022



Ahmad Fauzi

PENGHARGAAN

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta karunia, sehingga penulis akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat pada waktunya. Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, penyelesaian tugas akhir ini tidak akan terwujud. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan setinggi tingginya kepada :

1. Muhamad Fitri, Ph.D, selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin
2. Alief Avicenna Luthfie, M.Eng, selaku Sekretaris Program Studi dan Koordinator Tugas Akhir
3. Bapak Ade Firdianto, M.Eng selaku pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan, dan semangat kepada peneliti, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Segenap dosen dan seluruh staf akademik yang selalu membantu dalam memberikan fasilitas, ilmu, serta pendidikan pada peneliti hingga dapat menunjang dalam penyelesaian tugas akhir ini
5. Kepada rekan kerja khususnya kepada Sareza Hafis, ST., M Zaki Hauna, ST., M Rikzan, ST., M Arifkhan, ST., Deni Darmansyah, ST., dan Yusril Izha M, ST. yang telah berkontribusi dan membantu peneliti dalam mendapatkan data-data penunjang tugas akhir ini.
6. Kepada kedua orang tua tercinta yang selama ini telah membantu peneliti dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa yang tidak henti-hentinya mengalir demi kelancaran dan kesuksesan peneliti dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Rahmatun Laila Efendi terimakasih telah menjadi pasangan terbaik bagi peneliti yang selalu memberikan dukungan, semangat, motivasi, serta doa hingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Masih banyak lagi pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak bisa peneliti sebutkan satu persatu Semoga Allah SWT senantiasa

membalas semua kebaikan yang telah diberikanyang telah diberikan. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi peneliti umumnyakepada para pembaca

Jakarta, 1 Agustus 2022



Ahmad Fauzi



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
PENGHARGAAN	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
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	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. TURBIN GAS	6
2.2. SIKLUS DASAR TURBIN GAS	7
2.3. <i>TURBOFAN</i>	9
2.4. CFM 56-3	10
2.5. HUKUM BERNOULLI	11
2.6. <i>VENTURY EFFECT</i>	11
2.7. <i>ENGINE SHOP MANUAL (ESM)</i>	12

2.8.	INDIKATOR MESIN PESAWAT	13
2.9.	<i>EXHAUST GAS TEMPERATURE (EGT)</i>	13
2.10.	<i>EXHAUST GAS TEMPERATURE MARGIN (EGTM)</i>	14
2.11.	PERAWATAN	15
	2.11.1. Macam-macam perawatan mesin	15
2.12.	PERAWATAN MESIN PESAWAT	16
	2.12.1. <i>On-wing repair</i>	16
	2.12.2. <i>Engine shop visit</i>	17
2.13.	PENYEBAB DILAKUKANNYA PELEPASAN MESIN CFM 56-3C	17
	2.13.1. Penurunan nilai <i>EGT margin</i>	18
	2.13.2. Kedarluwarsa <i>life limited part</i>	18
	2.13.3. Kerusakan <i>hardware</i>	18
	2.13.4. <i>Foreign object damage (FOD)</i>	19
2.14.	FAKTOR KOREKSI	19
	2.14.1. Faktor koreksi temperatur T_2 (<i>outside air temperature</i>)	19
	2.14.2. Faktor koreksi kelembababan	22
	2.14.3. Faktor koreksi <i>HPT clearance control</i> KTCCN, KTCCT	23
	2.14.4. Faktor koreksi kenaikan temperatur terhadap kelembaban	24
	2.14.5. Faktor koreksi <i>Inlet Condensation</i>	24
2.15.	<i>FACILITY MODIFIER</i>	25
2.16.	<i>PARAMETER ADJUSTMENT</i>	25
2.17.	<i>DERIVATIVE</i>	26
2.18.	<i>AIR MODE</i>	27
	2.18.1. <i>Tested mode</i>	27
	2.18.2. <i>Nominal mode standard day</i>	28
	2.18.3. <i>Nominal mode hot day</i>	30
	2.18.4. Nilai <i>EGT margin</i>	31

2.19.	METODE <i>FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS (FMEA)</i>	33
2.20.	<i>RISK PRIORITY NUMBER (RPN)</i>	34
2.21.	<i>FISHBONE DIAGRAM</i>	36
2.22.	JENIS KERUSAKAN MESIN PESAWAT	37
2.23.	KERUSAKAN KOMPONEN <i>AIR MODE</i>	40
2.24.	<i>HIGH PRESSURE COMPRESSOR CLEARANCE CONTROL</i>	45
BAB III METODOLOGI		47
3.1.	DIAGRAM ALIR	47
3.2.	ALAT DAN BAHAN	51
3.3.	PROSEDUR PERHITUNGAN <i>AIR MODE</i>	54
3.4.	<i>FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS</i>	56
3.5.	<i>FISHBONE DIAGRAM</i>	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		59
4.1.	PERHITUNGAN <i>AIR MODE</i>	59
4.2.	PEMBAHASAN	65
BAB V PENUTUP		78
5.1.	KESIMPULAN	78
5.2.	SARAN	79
DAFTAR PUSTAKA		80
LAMPIRAN		82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin Gas	6
Gambar 2.2 Skema Sederhana Pembangkit Daya Turbin Gas Siklus Terbuka	8
Gambar 2.3 Siklus Brayton Terhadap Diagram P-V dan T-s	8
Gambar 2.4 <i>Tubofan</i> CFM 56-3	9
Gambar 2.5 Diagram CFM 56-3	10
Gambar 2.6 Ilustrasi <i>ventury effect</i>	12
Gambar 2.7 <i>Engine shop manual CFM</i>	13
Gambar 2.8 <i>Exhaust Gas Temperature Margin</i>	14
Gambar 2.9 Penyebab Utama Pelepasan Mesin	17
Gambar 2.10 <i>Turbine Clearance Control Tested Mode</i>	28
Gambar 2.11 <i>Turbine Clearance Control Nominal mode</i>	29
Gambar 2.12 <i>Fishbone Diagram</i>	36
Gambar 2.13 <i>Scratch</i> Pada Permukaan Metal	37
Gambar 2.14 <i>Dent</i> Cover Mesin Pesawat	38
Gambar 2.15 <i>Erosion</i>	38
Gambar 2.16 <i>Crack</i> pada metal	39
Gambar 2.17 <i>Bending</i> pada <i>HPC Rotor blade</i>	39
Gambar 2.18 <i>High Pressure Turbine</i>	40
Gambar 2.19 <i>Turbine Clearance Control Valve</i>	41
Gambar 2.20 <i>High Pressure Compressor Front Stator Case</i>	42
Gambar 2.21 <i>High Pressure Compressor Rear Stator Case</i>	43
Gambar 2.22 <i>High pressure compressor rotor blade (HPC rotor blade)</i>	44
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	48
Gambar 3.2 <i>Bellmouth</i> Tampak Samping dan Depan	52
Gambar 3.3 <i>Cowling Door</i>	52
Gambar 3.4 <i>Crane</i>	53
Gambar 3.5 <i>Engine</i>	53
Gambar 3.6 <i>LX 2000</i> Komputer dan Monitor	54
Gambar 3.7 <i>Fuel</i> dan <i>Power Lever</i>	54
Gambar 3.8 <i>Fishbone Diagram High EGT Takeoff</i>	58
Gambar 4.1 Inspeksi kegagalan CFM 56-3C	63
Gambar 4.2 <i>Fishbone Diagram</i>	67

Gambar 4.3 <i>Flowpath Scratch</i> pada <i>HPC Front Stator Case</i>	67
Gambar 4.4 <i>HPC Rotor blade erosion, crack dan bending</i>	68
Gambar 4.5 <i>Fan Speed</i> Pengujian 1 dan 2	75
Gambar 4.6 <i>Core Speed</i> Pengujian 1 dan 2	75
Gambar 4.7 <i>EGT</i> Pengujian 1 dan 2	76
Gambar 4.8 <i>EGTM</i> Pengujian 1 dan 2	76



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>EGT CFM 56-3 C</i>	15
Tabel 2.2 Faktor Koreksi <i>T₂ outer air temperature</i>	20
Tabel 2.3 Faktor Koreksi Kelembaban	22
Tabel 2.4 <i>HPT cleance control</i> untuk KTCCT	23
Tabel 2.5 <i>HPT cleance control</i> untuk KTCCN	23
Tabel 2.6 <i>Takeoff Power Setting</i>	24
Tabel 2.7 Faktor koreksi <i>Inlet Condensation K factors</i>	25
Tabel 2.8 <i>Parameter Adjustment</i>	26
Tabel 2.9 <i>Derivatives</i>	26
Tabel 2.10 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	34
Tabel 2.11 <i>Severity</i>	34
Tabel 2.12 <i>Occurity</i>	35
Tabel 2.13 <i>Detection</i>	35
Tabel 2.14 <i>HPC Blade to Stator Clearances</i>	45
Tabel 2.15 <i>Flowpath Min/Max Radius</i>	46
Tabel 3.1 <i>Failure Mode Effect Analysis High EGT</i>	56
Tabel 4.1 Data input Pengujian CFM 56-3C	60
Tabel 4.2 Faktor Koreksi Temperatur	60
Tabel 4.3 Faktor Koreksi Kelembaban	61
Tabel 4.4 Faktor Koreksi Kenaikan Temperatur	61
Tabel 4.5 Faktor Koreksi <i>Inlet Condensation</i>	61
Tabel 4.6 <i>Facility Modifiers</i>	62
Tabel 4.7 <i>Parameter Adjustment</i>	62
Tabel 4.8 <i>Derivatives</i>	62
Tabel 4.9 Hasil Pengujian 1	63
Tabel 4.10 <i>Failure Mode Effect Analysis High EGT</i>	65
Tabel 4.11 <i>Clearance HPC Front Stator Case dan HPC Rotor blade Uji 1</i>	68
Tabel 4.12 <i>Clearance HPC Front Stator Case dan HPC Rotor blade Uji 2</i>	69
Tabel 4.13 Data input 2 Pengujian CFM 56-3C	70
Tabel 4.14 Faktor Koreksi Temperatur 2	71
Tabel 4.15 Faktor Koreksi kelembaban 2	71

Tabel 4.16 Faktor Koreksi Kenaikan Temperatur 2	71
Tabel 4.17 Faktor Koreksi <i>Inlet Condensation</i> 2	72
Tabel 4.18 <i>Facility Modifiers</i> 2	72
Tabel 4.19 <i>Parameter Adjustment</i> 2	72
Tabel 4.20 <i>Derivatives</i> 2	73
Tabel 4.21 Hasil Pengujian 2	73
Tabel 4.22 Pengujian 1 dan 2	74



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
P	Pressure Fluida (<i>pascal</i>)
ρ	Massa jenis fluida (kg/m^3)
v	Kecepatan (m/s)
g	Gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)
h	Ketinggian (m)
θ	Theta



DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
<i>EGT</i>	<i>Exhaust Gas Temperature</i>
<i>EGTM</i>	<i>Exhaust Gas Temperature Turbine</i>
<i>HPT</i>	<i>High Pressure Turbine</i>
<i>HPTCC</i>	<i>High Pressure Turbine Clearance Control</i>
<i>TCCV</i>	<i>Turbine Clearance Control Valve</i>

