

**ANALISIS PENGARUH *EXHAUST GAS TEMPERATURE* TERHADAP  
*HIGH PRESSURE TURBINE* DAN *LOW PRESSURE TURBINE*  
ENGINE CFM56-3C1 PESAWAT BOEING 737-CLASSIC**



UNIVERSITAS  
FAUZAN ISMAIL ZAIN  
NIM: 41320110067  
MERCU BUANA

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA 2023

**ANALISIS PENGARUH *EXHAUST GAS TEMPERATURE* TERHADAP  
*HIGH PRESSURE TURBINE* DAN *LOW PRESSURE TURBINE*  
*ENGINE CFM56-3C1* PESAWAT *BOEING 737-CLASSIC***



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

Disusun oleh:

Nama : Fauzan Ismail Zain  
NIM : 41320110067  
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH  
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)  
JANUARI 2023

## HALAMAN PENGESAHAN

### ANALISIS PENGARUH EXHAUST GAS TEMPERATURE TERHADAP HIGH PRESSURE TURBINE DAN LOW PRESSURE TURBINE ENGINE CFM56-3C1 PESAWAT BOEING 737-CLASSIC

Disusun oleh:

Nama : Fauzan Ismail Zain

NIM : 41320110067

Program Studi : Teknik Mesin

Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal 7 Februari 2023

Telah dipertahankan di depan penguji,

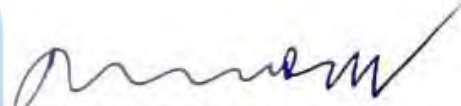
Pembimbing TA

Penguji Sidang I



Ade Firdianto, M.Eng

NIP: 186490142



Dr. Hadi Pranoto, S.T., M.T., Ph.D.

NIP: 114730347

Penguji Sidang II

Penguji Sidang III



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

NIP: 118900633



Gian Villany Golwa S.T., M.Si.

NIP: 1975801149

Mengetahui,

Kaprodi Teknik Mesin

Koordinator TA



Muhamad Fitri, M.Si., Ph.D

NIP: 118690617



Gilang Awan Yudhistira, ST., MT.

NIP: 221900211

## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Fauzan Ismail Zain

NIM : 41320110067

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Tugas Akhir : Analisis Pengaruh *Exhaust Gas Temperature* Terhadap *High Pressure Turbine* dan *Low Pressure Turbine Engine* CFM56-3C1 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.

Jakarta, 7 Februari 2023

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA



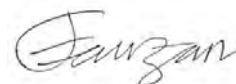
## PENGHARGAAN

Segala puji bagi Tuhan 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. Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng. selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Dr. Ir. Mawardi Amin, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Muhamad Fitri, Ph.D, selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin
4. Gilang Awan Yudhistira, ST., MT., selaku Koordinator Tugas Akhir.
5. Bapak Ade Firdianto, M.Eng selaku pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan, dan semangat sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Segenap dosen dan seluruh staf akademik yang selalu membantu dalam memberikan pendidikan pada peneliti hingga dapat menunjang dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Kepada rekan kerja khususnya kepada Sareza Hafis, ST., Ahmad Fauzi, ST., dan Yusril Izha M, ST., Fikri Auliya ST. yang telah berkontribusi dan membantu peneliti dalam mendapatkan data-data penunjang tugas akhir ini.
8. 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.

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 umumnya kepada para pembaca

Jakarta, 7 Februari 2023



## ABSTRAK

Pesawat merupakan transportasi udara yang menggunakan teknologi tinggi. Salah satu komponen pesawat adalah *engine*. Dalam dunia penerbangan, perawatan sangat penting untuk dilakukan agar tiap-tiap komponen dalam kondisi yang layak terbang. Setelah dilakukan perawatan, engine akan dilakukan tes *run up* untuk dapat menyatakan kelayakan terbang. Salah satu faktor terpenting dalam tes *run up* adalah nilai *Exhaust Gas Temperature* dibawah  $908^{\circ}\text{C}$ . Terdapat engine yang mengalami *fail test* karena nilai EGT  $916^{\circ}\text{C}$ . Kegagalan tes karena minus pada EGT disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi adalah kerusakan komponen pada *High Pressure Turbine* (HPT) dan *Low Pressure Turbine* (LPT). Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis penyebab EGT minus  $8^{\circ}\text{C}$  pada *High Pressure Turbine* (HPT) dan *Low Pressure Turbine* (LPT). Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis kegagalan pada HPT dan LPT dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk menentukan permasalahan yang terjadi pada bagian HPT dan LPT. Hasil dari penelitian ini adalah mengetahui penyebab nilai EGT  $916^{\circ}\text{C}$ . Setelah mengetahui sumber kegagalan maka akan dilakukan perbaikan berupa repair atau penggantian part dengan yang baru. Setelah itu akan dilakukan tes *run up* untuk melihat keberhasilan pada penelitian ini.

**Kata Kunci:** *exhaust gas temperature, high pressure turbine, low pressure turbine, failure mode and effect analysis*



**ANALYSIS OF THE EFFECT OF EXHAUST GAS TEMPERATURE ON HIGH PRESSURE TURBINE AND LOW PRESSURE TURBINE ENGINE CFM56-3C1 BOEING 737-CLASSIC**

**ABSTRACT**

*Aircraft is air transportation that uses high technology. One of the aircraft components is the engine. In the world of aviation, maintenance is very important to do so that each component is in airworthy condition. After maintenance, the engine will undergo a run-up test to be able to certify its flightworthiness. One of the most important factors in the run up test is the Exhaust Gas Temperature value below 908°C. There are engines that experience fail tests because the EGT value is 916°C. The test failure due to minus on EGT is caused by several factors. The influencing factors are component damage to the High Pressure Turbine (HPT) and Low Pressure Turbine (LPT). The purpose of this research is to analyze the causes of minus 8 °C EGTM on High Pressure Turbine (HPT) and Low Pressure Turbine (LPT). In this research, a failure analysis will be carried out on the HPT and LPT using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method to determine the problems that occur in the HPT and LPT sections. The result of this study is to find out the cause of the EGT value of 916°C. After knowing the source of failure, repairs will be carried out in the form of repair or replacement of parts with new ones. After that, a run-up test will be carried out to see the success of this study.*

**Keywords:** *exhaust gas temperature, high pressure turbine, low pressure turbine, failure mode and effect analysis*



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	<b>iv</b>
<b>PENGHARGAAN</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN	3
1.4. MANFAAT	3
1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>6</b>
2.1. GAS TURBIN	6
2.1.1. Cara Kerja Gas Turbin	7
2.1.2. Siklus Gas Turbin	8
2.2. MESIN PESAWAT	9
2.2.1 <i>Turbojet</i>	9
2.2.2 <i>Turboprop</i>	9
2.2.3 <i>Turbofan</i>	9



2.2.4	<i>Turboshaft</i>	10
2.3.	CFM56-3C1	10
2.4.	<i>HIGH PRESSURE TURBINE</i>	12
2.5.	<i>LOW PRESSURE TURBINE</i>	13
2.6.	HUKUM BERNOULLI	14
2.7.	<i>ROTOR BLADE CLEARANCE</i>	15
2.8.	PERAWATAN	15
	2.8.1. Jenis Perawatan	16
2.9.	<i>ENGINE SHOP MANUAL (ESM)</i>	17
2.10.	<i>WORKSCOPE PLANNING GUIDE (WPG)</i>	17
2.11.	<i>EXSHAUST GAS TEMPERATURE MARGIN (EGTM)</i>	18
2.12.	<i>METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS</i>	19
2.13.	<i>RISK PRIORITY NUMBER (RPN)</i>	20
2.14.	<i>BOROSCOPE INSPECTION</i>	22
2.15.	<i>EGT EFFECT</i>	22
2.16.	JENIS-JENIS KERUSAKAN MATERIAL PESAWAT	23
2.17.	PENELITIAN TERDAHULU	26
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI</b>	<b>28</b>
3.1.	METODE PENELITIAN	28
3.2.	ALAT DAN BAHAN	32
3.3.	ANALISIS DATA PENURUNAN EGT	34
3.4	GESEKAN TERHADAP HPT ROTOR <i>BLADE</i>	35
3.5.	<i>ANALISIS FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS</i>	36
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>38</b>
4.1.	ANALISIS KEGAGALAN PADA HPT	38

4.1.1.	Kegagalan Pada HPT Rotor <i>Blade</i>	38
4.1.2.	Kegagalan Pada HPT <i>Shroud</i>	41
4.1.3.	Kegagalan Pada HPT <i>Nozzle</i>	42
4.2.	ANALISIS KEGAGALAN PADA LPT	45
4.2.1.	Kegagalan Pada LPT <i>Honeycomb Seal</i>	46
4.2.2.	Kegagalan Pada LPT Rotor <i>Blade</i>	48
4.3.	PENGARUH KEGAGALAN HPT DAN LPT TERHADAP EGT	49
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP</b>	<b>53</b>
5.1.	KESIMPULAN	53
5.2.	SARAN	54
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>54</b>



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mesin Gas Turbin	7
Gambar 2.2 Cara Kerja Gas Turbin	7
Gambar 2.3 Siklus Brayton	8
Gambar 2.4 CFM56-3	10
Gambar 2.5 Diagram <i>Engine</i> CFM56-3	11
Gambar 2.6 HPT Rotor	12
Gambar 2.7 HPT <i>Shroud</i>	13
Gambar 2. 8 <i>Low Pressure Turbine</i>	14
Gambar 2.9 Rotor <i>Blade Clearance</i>	15
Gambar 2.10 <i>Engine Shop Manual</i>	17
Gambar 2.11 EGT <i>Redline</i>	19
Gambar 2.12 <i>Boroscope Inspection</i>	22
Gambar 2.13 <i>Crack</i> pada Metal	24
Gambar 2.14 <i>Corrosion</i>	24
Gambar 2.15 <i>Erosion</i>	25
Gambar 2.16 <i>Bending</i> pada <i>Compressor Blade</i>	25
Gambar 2.17 <i>Scratch</i>	26
Gambar 2.18 <i>Nick</i>	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3.2 Engine Gantry	32
Gambar 3.3 <i>Coordinate Measuring Machine</i>	33
Gambar 3.4 Mesin <i>High Speed Grinding</i>	33
Gambar 3.5 <i>Test Cell</i>	34
Gambar 3.6 Komputer dan Monitor LX 2000	34
Gambar 4.1 Diagram FMEA HPT Rotor <i>Blade</i>	38
Gambar 4.2 HPT Rotor <i>Burning</i>	40
Gambar 4.3 Diagram FMEA HPT <i>Shroud</i>	41
Gambar 4.4 HPT <i>Shroud</i>	42
Gambar 4.5 Diagram FMEA HPT <i>Nozzle</i>	42
Gambar 4.6 HPT <i>Nozzle</i>	43
Gambar 4.7 Diagram Gaya Gesek Pada HPT Rotor <i>Blade</i>	44

Gambar 4.8 HPT Rotor <i>Blade</i> Baru	45
Gambar 4.9 Diagram FMEA LPT <i>Honeycomb Seal</i>	46
Gambar 4.10 Rubbing LPT <i>Honeycomb Seal</i>	47
Gambar 4.11 LPT <i>Honeycomb</i> Baru	48
Gambar 4.12 Diagram FMEA LPT Rotor <i>Blade</i>	48
Gambar 4. 13 LPT Rotor <i>Blade</i>	49
Gambar 4.14 Hasil Pengujian EGT	50
Gambar 4.15 Hasil Pengujian Pressure PT495	50
Gambar 4.16 Hasil Pengujian Fuel Flow	51



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	20
Tabel 2.2 <i>Severity</i>	20
Tabel 2.3 <i>Occurity</i>	21
Tabel 2.4 <i>Detection</i>	21
Tabel 2.5 Rekomendasi <i>Clearance</i> pada HPT	22
Tabel 2.6 EGT <i>Effect</i> dan <i>Rub Dept</i> LPT	23
Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu	26
Tabel 3.1 <i>Failure Mode and Effect Analysis Turbine Modul</i>	36
Tabel 4.1 Pengukuran Dimensi HPT Perawatan Terakhir	40
Tabel 4.2 Data HPT <i>Clearance</i> Sebelum Perawatan	43
Tabel 4.3 Pengukuran HPT <i>Clearance</i> Sebelum dan Sesudah Perawatan	44
Tabel 4.4 LPT <i>Honeycomb Seal Rubbing</i> Data	47
Tabel 4.5 Hasil Pengujian <i>Testcell</i>	49



## DAFTAR SIMBOL

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



## DAFTAR SINGKATAN

<b>Singkatan</b>	<b>Keterangan</b>
EGT	<i>Exhaust Gas Temperature</i>
EGTM	<i>Exhaust Gas Temperature Margin</i>
HPT	<i>High Pressure Turbine</i>
LPT	<i>Low Pressure Turbine</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Error Analysis</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
HSG	<i>High Speed Grinding</i>

