

Analisis Pengaruh *High Pressure Compressor Rotor Clearance* Terhadap *Exhaust Gas Temperature Margin* Pada CFM56-7

Wildan Sofary Darga^{(1)*}, Edy K. Alimin⁽²⁾, Endah Yuniarti⁽³⁾

Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Program Studi Teknik Penerbangan Universitas Dirgantara
Marsekal Suryadarma

*Corresponding Author: wildansofary@gmail.com

Abstract - *Exhaust Gas Temperature* is an parameter where the hot gases's temperature leave the gas turbine. *Exhaust gas temperature margin* is the difference between highest temperature at take off phase with redline on indicator ($EGT\ Margin\ ^\circ C = EGT\ Redline - EGT\ Take\ Off$). *EGTM* is one of any factor to determine engine performance. A good performance of an engine when it has a big margin (*EGTM*), during operation of an engine the *EGTM* could decrease untill 0 (zero). So many factors could affect *EGTM* deterioration there are: distress hardware such as airfoil erosion, leak of an airseals, and increase of clearance between tip balde and shroud. Increase of clearance happens in high pressure compressor rotor clearance. In *CFM56-7* have 9 stage(s) of high pressure compressor and each stage give the *EGT* Loses. The calculation of *EGT* Effect/Losses is actual celarance – minimum clearance x 1000 x *EGT* Effect $^\circ C$, where actual clearance define by the subtraction of outside diameter's rotor with inside diameter's shroud, minimum clearance define in the manual, 1000 is adjustment from mils/microinch to inch, and *EGT* Effect is temperature that define in the manual. The analysist had done with 6 (six) engine serial number and proceed by corelation that shown linkage between clearance and *EGT* Effect, the corelation is strong shown the result of corelation (*r*) is 0.994275999 or nearest 1.

Keywords: *Exhaust Gas Temperature Margin*, *EGT* Effect, *High Pressure Compressor Clearance*, *CFM56-7*.

I. Latar Belakang

Pesawat terbang merupakan moda transportasi dengan teknologi tinggi yang terus dikembangkan seiring berjalannya waktu, baik dari segi rancang struktur maupun performa guna tercapainya pesawat yang andal dan kuat. Perawatan Pesawat juga dilakukan untuk menjaga performa dan pesawat tetap laik terbang.

Sebagai perusahaan yang bergerak dibidang industri Maintenance, Repair, and Overhaul (MRO) PT GMF AeroAsia Tbk terus meningkatkan kapabilitas dan kapasitas untuk menunjang operasi Garuda Indonesia khususnya juga operator lain sebagai customer dalam segi perawatan pesawat udara, diantaranya: *Line Maintenance, Base Maintenance, Component Shop, Landing Gear Shop, Repair Shop, Paint Shop, Wheel and Break Shop, Industrial Gas Turbine Engine Shop, Ground Support Equipment, dan Engine Shop.*

Engine merupakan salah satu komponen klas 1 (satu) yang terdapat pada pesawat yang berpengaruh besar terhadap performa pesawat itu sendiri sehingga monitor pada engine harus diperhatikan secara penuh selama pesawat beroperasi. Faktor yang menjadi perhatian utama performa *engine* adalah *Exhaust Gas Temperature (EGT) Margin*.

Exhaust Gas Temperature Margin adalah selisih antara batas maksimum suhu pada engine (redline) dengan suhu aktual yang terbaca pada saat take-off. Performa engine dikatakan bagus apabila EGTM memiliki angka lebih dari nol atau memiliki selisih yang besar. Seiring dengan beroperasinya engine, EGTM akan mengecil mendekati nol. Maka ini harus menjadi perhatian karena bila tidak segera ditangani (dilakukan perawatan di shop) maka performa engine akan menurun, selain itu

konsumsi fuel berlebih dan lebih buruknya lagi terjadi kerusakan pada komponen engine tersebut.

Kenaikan EGTM secara garis besar dipengaruhi dari menurunnya kemampuan (*distress*) hardware seperti *airfoil erosion*, kebocoran seal-seal, dan naiknya *clearance* antara *blade tip* dengan *shroud*. Oleh karena itu akan diteliti lebih lanjut mengenai *clearance* antara *high pressure compressor rotor* dengan *shroud compressor case*.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka rumusan masalahnya sebagai berikut: (a) bagaimana perhitungan *clearance high pressure compressor rotor* untuk mendapatkan nilai EGT Effect. (b) bagaimana korelasi *clearance high pressure compressor rotor* terhadap EGT Effect. (c) bagaimana indeks perubahan *clearance* terhadap EGT Effect.

Tujuan dari penelitian ini adalah (a) menghitung nilai *clearance high pressure compressor rotor* untuk mendapatkan nilai EGT Effect. (b) menghitung korelasi nilai *clearance high pressure compressor rotor* dengan EGT Effect. (c) mendapatkan nilai indeks *high pressure compressor rotor clearance* terhadap EGT Effect.

II. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perhitungan dan analisis. Perhitungan menggunakan korelasi sederhana untuk menentukan keterkaitan 2 (dua) variabel dan analisis dilakukan untuk membaca hasil dari perhitungan korelasi tersebut. Urutan penelitian dimulai dari: penentuan target *clearance* antara *high pressure rotor* dengan *flow path shroud*, observasi & input data, perhitungan EGT Effect dari 6 (enam) *Engine Serial Number*, perhitungan korelasi, penyajian data, serta analisis dan kesimpulan.

2.1. Boeing 737-800 NG

Boeing 737-800 *Next Generation* (NG) merupakan pesawat angkut komersil

yang digunakan untuk penerbangan jarak dekat dan jauh. Pertama kali dibuat pada tahun 2001 dan diklaim handal, efisien dan menguntungkan bagi operator. Untuk spesifikasi Boeing 737-NG dapat dilihat Tabel II-1.

Tabel 2-1. Spesifikasi Boeing 737-800 NG

No.	Deskripsi	Karakteristik
1	Country of Origin	United States of America
2	type	short to medium range airline
3	powerplant	2 x CFM56-7B24s or 2 x CFM56-7B26s or 2 x CFM56-7B27s on high gross weight versions
4	performance	Cruising speed Mach 0.785 Max Certificated Altitude 41,000 ft standard range with 162 pax 3,585 km (1,990nm) or with high gross version 5,083km (2,458nm)
5	weights	MOW 41,145 Kg (90,710lb), MTOW 70,535 Kg (155,500 Lb)
6	dimensions	wing span = 34.31 m (112ft 7in),
7	Capacity	2 cockpit crew, 162 pax with 12 first

2.2. CFM56-7

CFM56-7 merupakan *engine* jenis *turbofan* yang tergolong *high by-pass turbine engine* dan menjadi salah satu produk unggulan dari CFM International, sebuah perusahaan *join venture* antara GE Aviation Amerika dengan Safran Aircraft Engine. Untuk spesifikasi dapat dilihat Tabel 2-2.

Tabel 2-2 Spesifikasi CFM56-7

No.	Deskripsi	Karakteristik
1	Manufactured by	CFMI
2	Type	high by pass turbo fan
3	Dimension	Length = 2.51 m (98.72 in), Height = 1.83 m (72 in), Width = 2.12 m (83.40 in)
4	Compressor	Fan Single Stage, Low Pressure Compressor Four Stage, High Pressure Compressor Nine Stage
5	Turbines	High Pressure Turbine single stage, Low Pressure Turbine four stage
6	Take off Thrust	19500 - 27300 lbf
7	Take off flat rated	86/30 (°F/C)
8	Max Climb Thrust	5962 lbf
9	By-pass ratio	5.1:1 to 5.5:1
10	EGT Redline	950 deg C
11	N1	100% Low Pressure 5.175rpm, redline 104%
12	N2	100% High Pressure 14.460rpm, redline 105%

2.3. Penentuan Target Clearance

Target *clearance* ditujukan untuk proses *grinding high pressure compressor rotor* sehingga didapatkan *clearance* yang diinginkan. Ada 2 (dua) cara yang dapat dilakukan dalam penentuan target *clearance*, yaitu:

1. *Compressor case* sebagai referensi, artinya yang dijadikan patokan ukuran adalah *shroud compressor case* yang merupakan tempat atau bantalan laju *rotor blade* yang berada pada *compressor case*. Pengukuran *shroud compressor case* dilakukan dengan cara mengukur diameter dalam, setelah ukuran didapat maka dapat ditentukan *clearance* yang diinginkan terhadap *blade tip* sehingga *blade tip compressor rotor* mengalami pemotongan dengan cara *high speed grinding*.
2. Rotor sebagai referensi, artinya cara ini kebalikan dari cara (a). Diameter *tip blade rotor* sebagai referensi dan yang mengalami perubahan ada pada stator dengan cara *grinding* pada stator atau *flow path*. Target *clearance* merupakan angka *clearance* minimum yang telah ditentukan oleh manufaktur *engine* dalam hal ini adalah CFMI, angkanya dapat dilihat pada Gambar 2-1.

SUBTASK 72-31-00-440-221 - Assemble Engine Assemblies

(5) Table 2A Blade tip grind specifications for radius root and RPM

Table 2A				
Stage	Minimum Clearance	Angle K	Dim. H	Minimum Rotor RPM
1 (H01M)	0.058 in (1.47 mm)	15°12'	-0.221 in (-5.61 mm)	1615
2 (H02M)	0.057 in (1.45 mm)	14°42'	2.809 in (71.35 mm)	1723
3 (H03M)	0.027 in (0.69 mm)	11°53'	5.387 in (136.83 mm)	1800
4 (H04M)	0.044 in (1.12 mm)	12°18'	7.750 in (196.85 mm)	1855
5 (H05M)	0.041 in (1.04 mm)	9°17'	9.789 in (248.62 mm)	1901
6 (H06M)	0.043 in (1.09 mm)	5°16'	11.882 in (302.06 mm)	1954
7 (H07M)	0.034 in (0.86 mm)	4°39'	13.579 in (344.91 mm)	1978
8 (H08M)	0.034 in (0.86 mm)	2°22'	15.259 in (387.58 mm)	2000
9 (H09M)	0.035 in (0.89 mm)	0°00'	16.939 in (430.25 mm)	2000

EFFECT 7B ALL

Gambar 2-1. Target clearance

2.4. Pengolahan Data

Dengan mencari data *clearance engine* yang tersedia dari 6 (enam) *engine serial number*, perhitungan dan pengolahan data menggunakan *software Microsoft Excel*.

Pengolahan data diurutkan sebagai berikut:

1. Menentukan target *clearance*
2. Menghitung aktual *clearance*
3. Mencari selisih *clearance* antara aktual *clearance* dengan *minimum clearance*
4. Menghitung EGT Effect dan
5. *throttling impact*

- b. 1000 merupakan angka penyesuaian satuan dari *mils/microinch* ke *inch*.
- c. Δ *average throttling impact* merupakan selisih *clearance* rata-rata *stage 4* sampai *stage 9* teoritis dengan *clearance* rata-rata *stage 4* sampai *stage 9* aktual.

III. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan EGT Effect

Perhitungan EGT Effect menggunakan persamaan berikut:

$$\text{actual clearance} - \text{minimum clearance} \times 1000 \times \text{EGT Effect } ^\circ\text{C}$$

Dimana :

- a. *Actual clearance* didapat dari pengurangan antara stator radius dengan rotor radius.
- b. *Minimum clearance* didapat dari
- c. *engine shop manual*.
- d. 1000 merupakan penyesuaian satuan dari *mils/microinch* ke *inch*.
- e. EGT Effect merupakan angka yang telah ditentukan oleh manufaktur.

Kemudian lakukan perhitungan untuk *throttling impact*, ini terjadi hanya pada *stage 4-9*. Perhitungannya menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Throttling impact} = (\text{HPC stage 4 to 9 throttling impact} \times 1000) \times \Delta \text{ average throttling impact}$$

Dimana;

- a. HPC stage 4-9 *throttling impact* merupakan nilai yang telah diketahui, yaitu: 0.4320 in.

EGT Effect didapatkan dari hasil penjumlahan perhitungan dari persamaan 1 dan 2, sehingga hasil tersebut merupakan perkiraan dari EGT Effect atau EGT Losses dari *engine* tersebut atau bisa dilihat pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Data Perhitungan EGT Effect

Actual Clearance (in)			Stage	Delta (avg-min) in		EGT effect °C (mils/microinch)	EGT effect (°C)
Min	Max	Average		in	mm		
0.059	0.0669	0.062	1	0.058	1.47	0.004	0.1323
0.058	0.0626	0.060	2	0.057	1.45	0.003	0.0738
0.028	0.0384	0.031	3	0.027	0.69	0.004	0.0828
0.044	0.0570	0.048	4	0.044	1.12	0.004	0.1062
0.036	0.0565	0.046	5	0.041	1.04	0.005	0.1008
0.037	0.0484	0.042	6	0.043	1.09	-0.001	0.1008
0.030	0.0404	0.035	7	0.034	0.86	0.001	0.108
0.030	0.0367	0.033	8	0.034	0.86	-0.001	0.1179
0.032	0.0371	0.034					0.1026
Average							0.1044
Throttling impact							0.432
							0.649
							2.644

Lakukan perhitungan tersebut untuk 6 (enam) *engine* serial number dengan menggunakan *Microsoft Excel*.

3.2. Pengolahan Data

Pengambilan data dilakukan pada *engine* CFM56-7 yang mengalami perawatan di PT GMF AeroAsia. Ada 6 (enam) *engine* dengan *serial number* yang berbeda, diantaranya: 802848, 802855, 802646, 802851, 804304, dan 896212.

Pengolahan data adalah dengan cara melakukan perhitungan EGT Effect/losses untuk 6 (enam) *engine serial number* dengan menggunakan *Microsoft Excel*, untuk hasil keseluruhan antara *clearance* dengan EGT Effect bisa dilihat pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Clearance terhadap EGT Effect

ESN	Total Average Clearance	EGT Effect
896212	0.04366	2.644
804304	0.04320	2.083
802848	0.04631	6.984
802851	0.04403	3.409
802646	0.04613	6.108
802855	0.04488	4.648

Setelah didapatkan data seperti Tabel III-2, selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk perhitungan korelasi sederhana. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui keterkaitan antara *clearance* dengan EGT Effect yang dihasilkan.

Dengan menggunakan persamaan Karl Pearson untuk menghitung korelasi sederhana diperlukan variabel X dan Y, dimana X untuk total average clearance dan Y untuk EGT Effect sehingga akan seperti Tabel 3-3.

Tabel 3-3. perhitungan korelasi Pearson

No	X	Y	X ²	Y ²	XY
1	0.04366	2.644	0.00190658676477228	6.99074	0.11545
2	0.04320	2.083	0.00186624000000000	4.33889	0.08999
3	0.04631	6.984	0.00214471901234568	48.7763	0.32344
4	0.04403	3.409	0.00193892673958189	11.6213	0.15011
5	0.04613	6.108	0.00212834498730717	37.3077	0.28179
6	0.04488	4.648	0.00201446256302391	21.6039	0.20862
Total	0.26823	25.876	0.01199928	130.639	1.16938

Dari Tabel 3-3, sehingga penentuan variabel hitung lainnya adalah sebagai berikut:

$$n = 6$$

$$\Sigma x = 0.26823$$

$$\Sigma y = 25.876$$

$$\Sigma x^2 = 0.01199928$$

$$\Sigma y^2 = 130.639$$

$$\Sigma xy = 1.16938$$

Selanjutnya, variabel diatas dimasukan dalam rumus Karl Perason

dengan menggunakan *Microsoft Excel*, sehingga :

$$r = \frac{(6 \times 1.16938) - (0.26823) - (25.876)}{\sqrt{\{6 \times 0.01199928 - (0.26823)^2\} \{6 \times 130.639 - (25.876)^2\}}}$$

Maka didapatkan nilai *r* adalah 0.994275999. Melihat nilai *r* yang didapatkan mendekati angka 1 (satu), maka ikatan atau korelasi antara *clearance* dengan EGT Effect sangat erat atau kuat.

IV. Kesimpulan

Setelah melakukan analisis data *tip clearance compressor rotor* didapatkan varian hasil EGT Effect yang ternyata dapat dipengaruhi oleh *clearance tip compressor* dapat disimpulkan bahwa:

1. *Tip clearance compressor* berbanding lurus dengan EGT Effect, sehingga semakin tinggi *clearance* semakin tinggi juga EGT Effect atau EGT Loss yang diberikan maka akan mengurangi EGT Margin pada engine tersebut.
2. Nilai korelasi koefisien menunjukkan hasil bahwa keterkaitan antara *high pressure compressor rotor clearance* dengan EGT Effect sangat berkaitan, yaitu ditunjukkan dengan nilai *r* yaitu 0.994275999.
3. Indeks atau nilai rata-rata perubahan per 0.001 in pada *high pressure compressor clearance* terhadap EGT Effect adalah 0.09647 °C. Hampir sama dengan indeks perubahan yang terjadi pada *high pressure turbine clearance* yaitu 0.0001 in adalah 0.08548, maka yang lebih berpengaruh terhadap EGT Effect adalah *high pressure turbine clearance*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **aeroalias**. Is This an accurate depiction of the internal shape of turbofan engine? *AVIATION*. [Online] jun 14, 2017. [Cited: 11 2019, 26.] <https://aviation.stackexchange.com/questions/38933/is-this-an-accurate-depiction-of-the-internal-shape-of-a-turbofan-engine>.
- [2] **Giampaolo, Anthony**. *GAS TURBINE HANDBOOK: Principles and Practices*. Lilburn : The Fairmont Press, 2006. 0- 88173-516-7.
- [3] **GMF Learning Services**. Basic Engine Maintenance Airframe Powerplant Module 11 - Gas Turbine Engine. Jakarta : GMF Learning Services, 2016.
- [4] **CFM International**. THE POWER OF FLIGHT. *THE CFM56 ENGINE*. [Online] CFM International, 1996-2019. [Cited: November 27, 2019.] https://www.cfmaeroengines.com/engine_s/cfm56/.
- [5] —. *WORKSCOPE PLANNING GUIDE*. s.l. : CFM Proprietary Information, 2019.
- [6] **Wijayanto, A**. Analisis Korelasi Product Moment Pearson. [Online] 2008. http://eprints.undip.ac.id/6608/1/Korelasi_Product_Moment.pdf.
- [7] **Ackert, Shannon**. Engine Maintenance Management. *aircraftmonitor.com*. [Online] May 12, 2015. [Cited: 10 31, 2019.] http://www.aircraftmonitor.com/uploads/1/5/9/9/15993320/engine_mx_management_madrid_may-12_2015.pdf.
- [8] **British Electricity International**. *Turbines, Generators And Associated Plant (Third Edition)*. London : Pergamon Press, 1991. 780080405131.
- [9] **Ridaura, Juli Antonio Rubio**. *Correlation analysis between HPC blade chord and compressor efficiency for the CFM56-3*. Portugal : s.n., 2014.
- [10] **Nur, Ganjar Muhammad**. *PENGARUH LOAD COMPRESSOR TIP CLEARANCE (T) TERHADAP KINERJA APU GTCP 131-9B BERDASARKAN KOLERASI PEARSON*. Jakarta : s.n., 2016.