

Analisis Kegagalan Air Turbine Starter Boeing 777-300ER di PT GMF Aeroasia

Ikhwan Rahmadian^{1*}, Dian Saputra¹, dan Dedek Zuldin²

¹Program Studi Konsentrasi Perawatan Mesin dan Kerangka Pesawat, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²PT. GMF AeroAsia Tbk., Jl. GMF AeroAsia, Pajang, Benda, Kota Tangerang, Banten 15126

Abstrak

Kegagalan pada Air Turbine Starter Boeing 777-300ER dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada saat starting engine, sehingga menyebabkan delay performance. Setelah dilakukan penelitian pada Air Turbine Starter, kegagalan disebabkan oleh 3 komponen yang rusak, yaitu rusaknya turbine wheel, starter carbon seal dan bearing. Untuk mengatasi masalah tersebut, solusinya adalah mengganti komponen yang mengalami kegagalan dan membuat jadwal perawatan yang lebih efektif dengan metode predictive maintenance. Predictive maintenance bertujuan untuk memprediksi waktu kerusakan Air Turbine Starter sehingga dapat diketahui waktu penggantian yang lebih efektif sehingga mencegah kegagalan tersebut kembali terjadi.

Kata-kata kunci: Air Turbine Starter; Boeing 777-300ER; Predictive Maintenance

Abstract

Failure on the Air Turbine Starter Boeing 777-300ER can cause failure when the starting engine, so that cause performance delay. After conducting research on Air Turbine Starter, failure was caused by 3 damaged components, namely damage to the turbine wheel, starter carbon seal and bearing. To overcome this problem, the solution is to replace the component that has failed and schedule a more effective treatment with a predictive maintenance methods. Predictive maintenance aims to predict the time of damage to the Air Turbine Starter so that it can be known more effective replacement time prevents this failure from happening again.

Keywords: Air Turbine Starter; Boeing 777-300ER; Predictive Maintenance

1. PENDAHULUAN

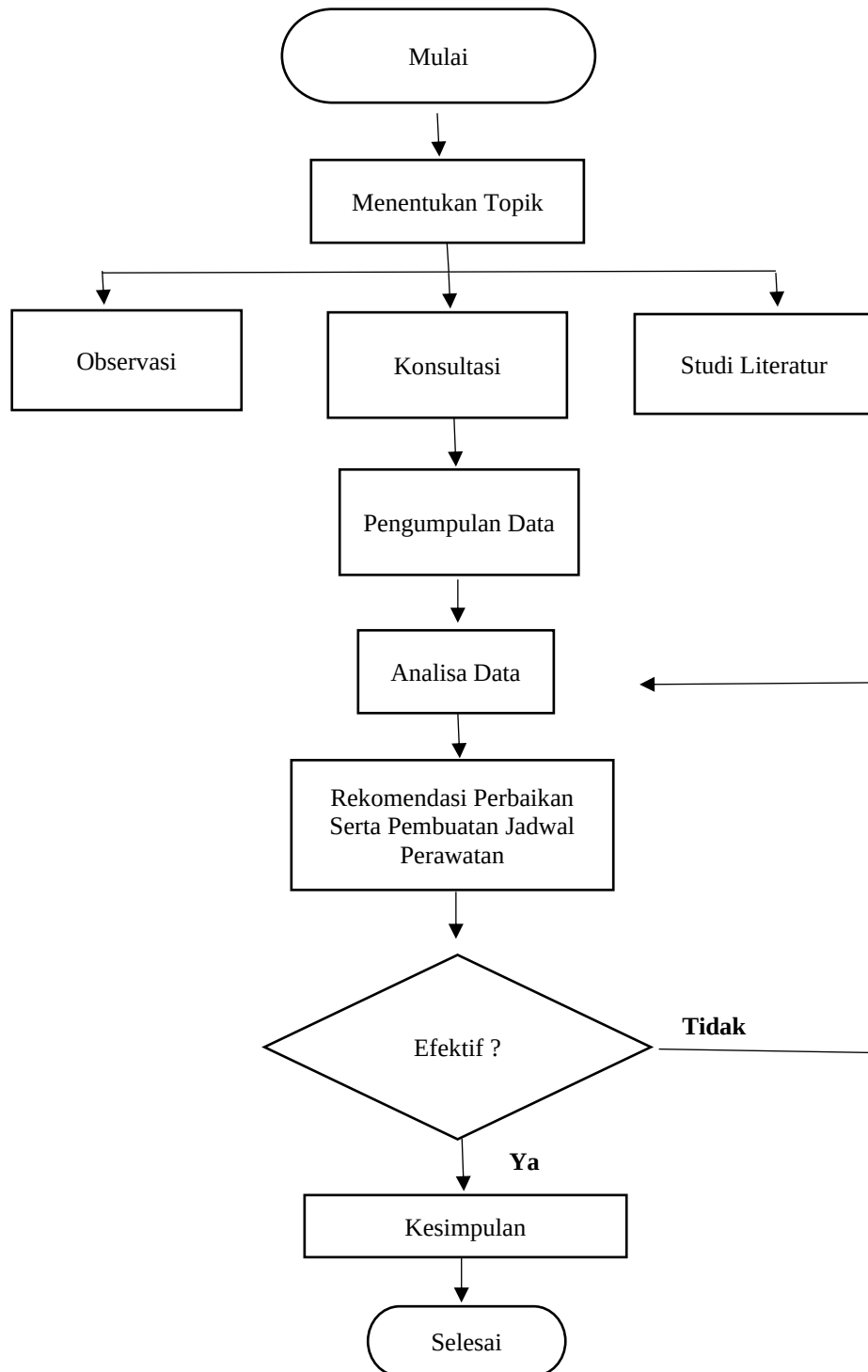
Pada tanggal 24 Januari 2019 Pesawat registrasi PK-GIC milik Garuda Indonesia mengalami removal air turbine starter pada engine 1 (*left engine*) hal ini dikarenakan akibat terjadinya kegagalan saat starting engine. Jenis kegagalan tersebut dinamakan *Hungstart*. *Hungstart* adalah kondisi kegagalan starting engine yang diakibatkan oleh kurangnya input putaran yang dibutuhkan engine yang dihasilkan *air turbine starter* saat *starting engine* sehingga membuat engine gagal untuk sampai pada *idle position* atau *self sustained speed*. Kejadian kegagalan *starting* sangat merugikan pihak operator pesawat terbang yaitu karena terjadinya *delay performance* yang mengakibatkan kerugian besar pada operasional pesawat terbang.

Penyelesaian masalah kegagalan *Air Turbine Starter* dianalisis berdasarkan *Fault Isolation Manual* dan *Aircraft Maintenance Manual*. Selanjutnya melakukan analisis untuk mengetahui penyebab kejadian kegagalan *Air Turbine Starter*, selanjutnya memperbaiki komponen yang rusak dengan cara melakukan penggantian komponen yang rusak dengan komponen yang baru dan menemukan prosedur perawatannya. Setelah masalah diselesaikan, untuk mencegah peristiwa tersebut terjadi kembali maka dilakukan analisis waktu kegagalan sistem agar dapat membuat jadwal perawatan yang baru sehingga dapat mencegah kejadian ini terjadi kembali.

* Corresponding author E-mail address: ikhwanrahmadian1@gmail.com

2. METODE

Metode yang dipakai dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut sebagai berikut



Gambar 1 Diagram alir metode penelitian kerusakan *air turbine starter*.

Menentukan topik dari kejadian sebenarnya pada Air Turbine Starter Boeing 777-300ER. Melakukan konsultasi dengan narasumber yang ahli dalam bidang penerbangan khususnya perawatan pesawat B777-300ER. Mempelajari literatur yang berkaitan dengan permasalahan yang akan diangkat seperti Module Gas

Turbine Engine GMF AeroAsia Learning Service, *Aircraft Maintenance Manual*, *Component Maintenance Manual* dan *New weibull handbook*.

Melakukan observasi atau pengamatan langsung di GMF aeroasia untuk melakukan pengumpulan data. Mendapatkan data dari bidang engineering GMF Aeroasia. Data yang didapatkan merupakan data removal *Air Turbine Starter* yang berisi tanggal *removal* dan registrasi pesawat yang diperbaiki. Data tersebut dianalisa menggunakan *fault isolation manual* dan *maintenance manual* sehingga didapatkan penyebab kerusakan dan membuat tabel removal starter Boeing 777-300ER milik PT Garuda Indonesia.

Langkah selanjutnya yaitu melakukan analisa kerusakan menggunakan *maintenance manual* sehingga didapatkan cara menanggulangi sistem yang rusak. Selain itu dilakukan analisa *reliability* untuk menentukan waktu kerusakan sistem. Membuat rekomendasi perbaikan dan melakukan penyusunan jadwal perawatan yang baru berdasarkan waktu kerusakan sistem agar dapat mencegah kerusakan tersebut, sehingga mendapatkan jadwal perawatan yang lebih efektif. Verifikasi rekomendasi perbaikan dan pembuatan jadwal apakah efektif atau tidak, jika tidak, kembali ke analisa data, selanjutnya kesimpulan berisi tentang penyebab utama kegagalan pada *Air Turbine Starter* dan memberikan saran agar kejadian perbaikan atau removal *air turbine starter* dibawah umur rata-rata pemakaian tidak terjadi kembali.

3. PEMBAHASAN DAN HASIL

Dalam penelitian ini, objek permasalahan yang diteliti adalah *Air Turbine Starter* Boeing 777-300ER dengan *Part Number* 350-713-812-0. Telah mengalami kegagalan pada saat beroperasi dan di lakukan *removal starter* pada saat umur starter 374 *Flight Cycle* pada tanggal 24 Januari 2019. Hasil analisis kegagalan pada *Air Turbine Starter* dikarenakan 3 komponen utama yang rusak yaitu *turbine wheel*, *starter carbon seal* dan *turbine rotor ball bearing*. Hal ini dikarenakan *unbalanced load*, *over temperature* dan *foreign object damaged* pada *Air Turbine Starter*.



Gambar 2 *Air Turbine Starter* Boeing 777-300ER

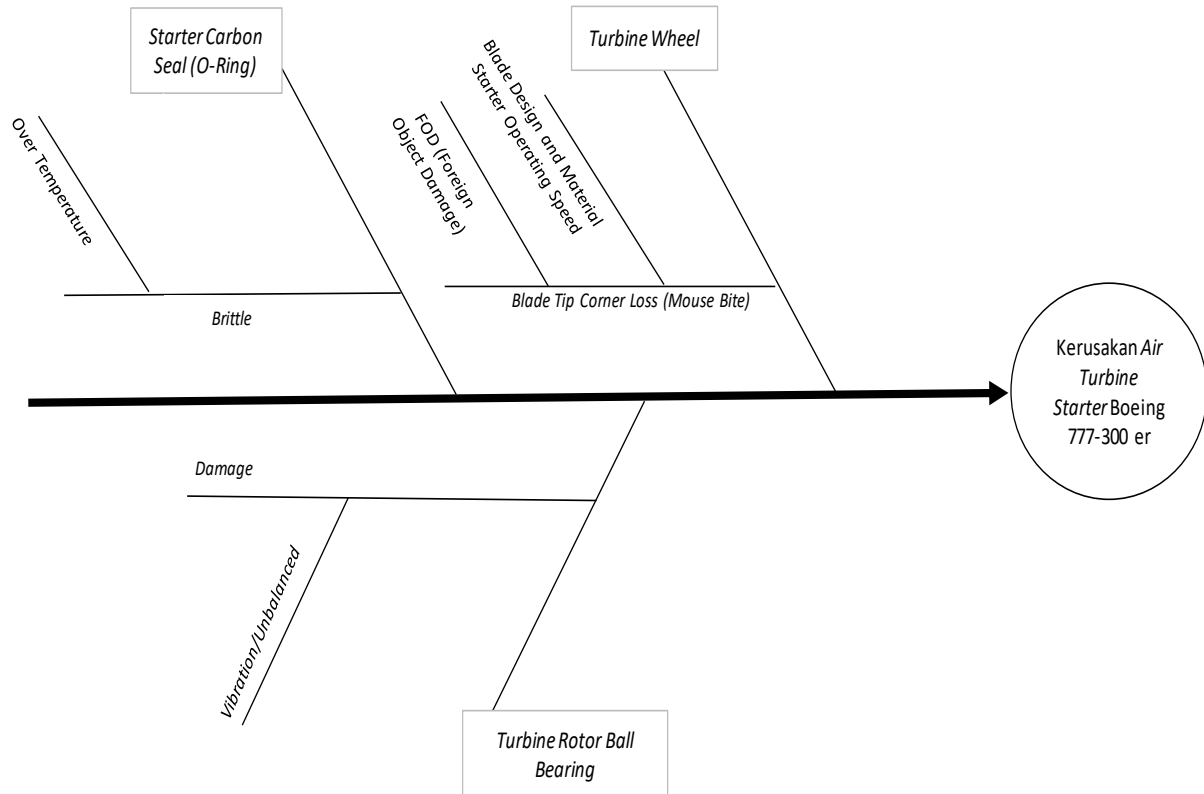
Data Remove & Install Engine Starter Monitoring GE90-115B Milik PT Garuda Indonesia

Tabel 1 Tabel *Remove & Install Engine Starter Monitoring*

<i>Aircraft Registration</i>	<i>Flight Cycle</i>
PK-GIA (Engine 1)	738
PK-GIC (Engine 1)	638
PK-GIC (Engine 2)	741
PK-GIE (Engine 2)	518
PK-GIC (Engine 2)	761
PK-GIC (Engine 1)	374
PK-GIC (Engine 1)	749

Tabel diatas merupakan data remove Air Turbine Starter Boeing 777-300ER milik Garuda Indonesia yang didapatkan dari unit Engineering PT GMF AeroAsia. Terdapat penurunan umur pemakaian pada tabel tersebut yaitu dialami oleh PK-GIC (Engine 1) dengan umur 374 Flight Cycle padahal rata-rata removal Air Turbine Starter yaitu 646 Flight Cycle sehingga perlu dilakukan analisis kerusakan yang terjadi pada *Air Turbine Starter* tersebut.

Analisis Kerusakan



Gambar 3 Diagram Ishikawa (Fishbone Diagram)

Dari data penelitian yang telah didapat, terdapat beberapa penyebab utama kerusakan setelah dilakukan *maintenance* pada *Air Turbine Starter*, berikut ini adalah jenis kerusakan yang akan dibahas :

1. Turbine wheel (roda turbin)
2. Starter carbon seal (O-ring)
3. Turbine rotor ball bearing

1. Turbine Wheel (Roda Turbin)

Blade Design and Material Starter Operating Speed adalah kondisi rusaknya *Turbine Wheel* yang diakibatkan dari manufaktur karena desain dan material starter yang sesuai dengan *Operating Speed* (operasional kecepatan) *Turbine Wheel*. dan telah diberikan rekomendasi penggantian dari manufaktur berupa *design improvement* dengan *tip clip*. Solusinya yaitu melakukan rekomendasi penggantian turbine wheel.

- *FOD (Foreign Object Damage)*

FOD (Foreign Object Damage) adalah jenis kerusakan *Turbine Wheel* yang diakibatkan oleh adanya objek atau benda asing yang masuk ke dalam *Turbine Wheel* sehingga dapat menyebabkan *fracture* (patah) pada *turbine blade* dan menyebabkan *Blade Tip Corner Loss (Mouse Bite)*. Solusinya yaitu melakukan penggantian turbine wheel dan inspeksi sekitar starter sebelum starter beroperasi.



Gambar 4 Turbine Wheel Blade Tip Corner Loss (Mouse Bite)

2. Starter Carbon Seal (O-ring)

Over Temperature adalah penyebab kerusakan *Starter Carbon Seal (O-ring)* karena tingginya suhu operasional pada seal tersebut melebihi dari *capability* (kemampuan) seal tersebut sehingga menyebabkan *brittle* (rapuh) pada *Starter Carbon Seal (O-ring)*. Solusinya yaitu harus dilakukan penggantian seal, dan menjaga Air Turbine Starter agar tidak *Over temperature*. *Over Temperature* terjadi karena lubrikasi yang kurang pada starter, maka harus dilakukan inspeksi oli sebelum starter beroperasi dan melakukan penambahan oli jika diperlukan, cara penambahan oli dapat dikerjakan dengan refferensi AMM ata 12 task 12-13-01-130-803-002 tentang *oil replenishing*.



Gambar 5 Brittle pada Starter Carbon Seal (O-ring)

3. Turbine Rotor Ball Bearing

Vibration (Unbalanced Load) merupakan penyebab kerusakan *Turbine Rotor Ball Bearing* karena tidak seimbang putarannya pada *Air Turbine Starter*. Unbalanced load menyebabkan timbulnya *Radial Load* yang berlebih pada bearing, sehingga terjadi *radial wear* pada bearing. Solusinya melakukan penggantian bearing, penggantian atau balancing turbine wheel, penggantian nut dan torsi yang telah ditentukan yaitu 1,150 to 1,250 in-lb (129.9 to 141.2 Nm) sesuai dengan spesifikasi manufaktur.



Gambar 6 Main thrust bearing severe wear condition

Analisis Reliability

Setelah mendapatkan data remove *Air Turbine Starter* pada Boeing 777-300ER dengan *Part Number* 350-713-812-0 maka dilakukan analisa Reliability dengan menentukan parameter alpha dan beta yang akan digunakan pada *Weibull Distribution*.

1. Mengolah data yang ada menjadi tabel

Tabel 2 Tabel Kejadian Kerusakan Air Turbine Starter

TABEL KEJADIAN KERUSAKAN AIR TURBINE STARTER	
Serial Number	Removal Time
YG005820-H	374
YG008839	518
YG008770	638
YG008720	738
YG008732	741
YG005396C	749
YG005369-UC	761

Removal Time dengan Flight Cycle

- Setelah mengelompokkan data dengan table, selanjutnya menentukan Alpha dan Beta sebagai parameter untuk parameter weibull. Dengan metode regresi linear pada persamaan unreliability pada distribusi weibull dengan menggunakan pendekatan $F(t) = \text{Median Rank}$

Diketahui persamaan Unreliability :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (1)$$

Untuk melakukan regresi linear maka persamaan harus diubah menjadi persamaan linear. Maka diberikan log normal pada masing masing sisi sehingga didapatkan $y = a + bx$

$$1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$\ln(1 - F(t)) = \ln(e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta})$$

$$\ln(1 - F(t)) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta$$

$$-(\ln(1 - F(t))) = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta$$

Lalu sekali lagi diberikan Log Normal pada kedua sisi

$$\ln\{-(\ln(1 - F(t)))\} = \ln\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln\{-(\ln(1 - F(t)))\} = \beta \ln\left(\frac{t}{\eta}\right)$$

Dengan sifat logaritma sehingga

$$\ln\{-(\ln(1 - F(t)))\} = -\beta \ln(\eta) + \beta \ln(t)$$

Sesuai dengan persamaan diatas maka :

$$\begin{aligned}
 y &= a + bx \\
 \text{Maka } y &= \text{Ln}\{-(\text{Ln}(1 - F(t)))\} \\
 a &= -\beta \text{Ln}(\eta) \\
 b &= \beta \\
 x &= \text{Ln}(t)
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan η diketahui

$$\begin{aligned}
 a &= -\beta \text{Ln}(\eta) \\
 a &= \text{Ln}(\eta)^{-\beta}
 \end{aligned}$$

Maka didapatkan

$$\begin{aligned}
 e^{\frac{a}{b}} &= \eta \\
 \eta &= e^{\frac{a}{b}}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Setelah itu melakukan regresi dengan persamaan

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N}}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^N x_i)^2}{N}} \tag{3}$$

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} - b \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \tag{4}$$

Setelah mengetahui persamaan diatas maka untuk melakukan regresi dibuat tabel berikut

Tabel 3 Tabel Perhitungan

N	T	x_i	$F(T)$	y_i	$(x_i)^2$	y_i^2	$x_i y_i$
1	374	5.924256	0.094595	-2.30888	35.09681	5.330927	-13.6784
2	518	6.249975	0.22973	-1.34318	39.06219	1.804138	-8.39485
3	638	6.458338	0.364865	-0.78984	41.71013	0.623847	-5.10105
4	738	6.603944	0.5	-0.36651	43.61207	0.134332	-2.42043
5	741	6.608001	0.635135	0.008195	43.66567	6.72E-05	0.05415
6	749	6.618739	0.77027	0.385842	43.80771	0.148874	2.553785
7	761	6.634633	0.905405	0.85788	44.01836	0.735957	5.691716
Σ	4519	45.09789	3.5	-3.5565	290.9729	8.778142	-21.2951

Keterangan : N = Jumlah data

T = Waktu kerusakan (TSI)

$$X_i = \ln(T_i)$$

$$F(T) = \frac{(Ni-0.3)}{(N+0.4)} \quad (5)$$

$$Y_i = \ln \{-(\ln(1-F(t)))\}$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N}}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^N x_i)^2}{N}}$$

$$\hat{b} = \frac{(-21,2951) - \frac{(45,09789)x(-3,5565)}{7}}{290,9729 - \frac{(45,09789)^2}{7}}$$

$$\hat{b} = 3,786824976$$

$$\beta = \hat{b}$$

Maka didapatkan betha yaitu 3.2289546659

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} - b \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

$$\hat{a} = \frac{-3,5565}{7} - (3,786824976) \frac{45,09789}{7}$$

$$\hat{a} = -24,90490232$$

Kemudian untuk mencari eta

$$\beta = \hat{b}$$

$$\eta = e^{-\frac{a}{b}}$$

$$\eta = e^{-\frac{-24,90490232}{3,786824976}}$$

$$\eta = 718,1826319$$

Maka didapatkan eta yaitu 718,1826319

Selanjutnya dilakukan penghitungan mean time to failure

$$\bar{T} = \eta \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (6)$$

$$\bar{T} = 718,1826319 \cdot \Gamma\left(\frac{1}{3,786824976} + 1\right)$$

$$\bar{T} = 718,1826319 \cdot \Gamma(1,264073467)$$

$$\bar{T} = 718,1826319 \times 0.90440$$

$$\bar{T} = 649.5243723 \text{ Cycle}$$

Tabel 4 Hasil Perhitungan

Komponen	MTTF
<i>Air Turbine Starter</i>	649.5243723 Cycle

Setelah dilakukan penghitungan *Mean Time To Failure* maka didapatkan nilai sebesar 649.5243723 Cycle, maka dapat dijadwalkan Removal Air Turbine Starter untuk dilaksanakannya perawatan dan perbaikan pada 600 *Flight Cycle*. Perbaikan dan perawatan yang dilakukan meliputi penggantian komponen pada *Air Turbine Starter*.

4. KESIMPULAN

1. Penyebab kegagalan Air Turbine Starter berasal dari 3 komponen utama yang mengalami kerusakan yaitu turbine wheel, starter carbon seal dan rotor ball bearing, hal ini menyebabkan berkurangnya output putaran dari starter yang menyebabkan kegagalan saat starting engine.
2. Solusi dari kegagalan Air Turbine Starter adalah mengganti komponen yang rusak dengan komponen yang baru dengan jenis yang sesuai, dan melakukan removal atau perbaikan Air Turbine Starter setiap 600 Flight Cycle agar perbaikan Air Turbine Starter lebih efektif, perhitungan berdasarkan perhitungan Mean Time To Failure dari analisis reliability.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT GMF AEROASIA Unit Engineering, Unit Shop, dan Unit Learning Services atas dukungan finansialnya pada penelitian ini

REFERENSI

1. F. Abernethy, D. R. The New Weibull Handbook. North Palm Beach: Robert B. Abernethy. 2015.
2. Honeywell, International Inc, Component Maintenance Manual Honeywell Engine Air Turbine Starter, 2018.
3. Boeing, 777-300ER Aircraft Maintenance Manual ATA Chapter 12, Jakarta. 2018.
4. Boeing, 777-300ER Aircraft Maintenance Manual ATA Chapter 80, Jakarta. 2018.
5. GMF Aeroasia Learning Service, *Module 11A Gas Turbine Engine*. Jakarta. 2015.
6. GMF Aeroasia Learning Service, *Module Aircraft Maintenance Management*. Jakarta. 2015.