

Evaluasi Rate of Occurrence of Failure (ROCOF) and lifetime Prediction at Integrated Drive Generator (IDG) air/oil cooler Boeing Aircraft 737-800 Garuda Indonesia at PT GMF Aero Asia

Arfandi Achmad¹, Fajar Khanif Rahmawati², Dwi Hartini^{3,*}

^{1,2,3}Department of Aeronautical Engineering,
Faculty of Aerospace Technology,
Adisutjipto Institute of Aerospace Technology

Article Info

Article history:

Received February 13, 2023

Accepted May 8, 2023

Published May 30, 2023

Keywords:

IDG Air/Oil Cooler

Power Law Process

Reliability

MTTF

Preventive Maintenance

ABSTRACT

The aviation industry in Indonesia demands an increase in the reliability and safety of aircraft according to CASR 43 through maintenance activities. One of the maintenance aircraft carried out is maintenance on the *Integrated Drive Generator (IDG) Air/Oil Cooler* Boeing 737-800 aircraft. *IDG Air/Oil Cooler* functions to transfer heat energy. Maintenance is carried out by repairing or replacing components depending on the level of damage. The method used for the *IDG Air/Oil Cooler* repair policy is a *Power Law Process* with a *Non-Homogeneous Poisson Process*. This study obtained an *Increasing Failure Rate (IFR)* with an average user age or *Mean Time To Failure (MTTF)* of 8180.228022 Flight Hours. By using a reliability reference value of 70%, it can be recommended preventive maintenance measures with an interval of 5000 Flight Hours with a better reliability effect than without preventive maintenance applied.



Corresponding Author:

Dwi Hartini,

Department of Aeronautical Engineering,

Faculty of Aerospace Technology,

Adisutjipto Institute of Aerospace Technology

Jl. Maguwo No.443, RW.27, Karang Jambe, Banguntapan,

Kec. Banguntapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55198

Email: mdwihartini@gmail.com

1. PENGANTAR

Penggunaan transportasi udara merupakan salah satu moda transportasi yang digemari karena waktu tempuh yang diberikan yang begitu cepat untuk mencapai suatu tempat tujuan tertentu. Pesawat terbang memiliki sistem yang kompleks dimana diperlukan perawatan agar menjaga operasional dalam keadaan *safety* (aman) dan laik terbang. Seiring bertambahnya jam terbang penerbangan pesawat terbang, komponen yang terdapat pada pesawat terbang mengalami penurunan performa hingga terjadinya kejadian *failure* atau kegagalan fungsi. *Failure* atau kegagalan adalah ketidakmampuan sebuah sistem atau komponen dalam melakukan fungsi sesuai dengan spesifikasinya.

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 1 tahun 2009 Tentang Penerbangan yang membahas tujuan penyelenggaraan penerbangan. Setiap pesawat terbang dalam masa pengoperasiannya memiliki kebijakan dalam melakukan perbaikan dan penggantian komponen yang dianggap yang sudah tidak laik ataupun mesin pesawat guna meningkatkan rasa nyaman dan aman [1].

Kegiatan perawatan merupakan suatu keharusan penerbangan yang didasari oleh Civil Aviation Safety Regulation (CASR) Part 43 tentang *Maintenance, Preventive maintenance, Rebuilding, dan Alteration* dimana kegiatan perawatan yang dilakukan merupakan kegiatan untuk mempertahankan pesawat udara, komponen-komponen pesawat udara, dan perlengkapannya dalam keadaan laik udara [2].

Pesawat terbang terdiri dari jutaan komponen yang melekat pada tubuhnya. *Integrated Drive Generator* (IDG) *Air/Oil Cooler* merupakan salah satu bagian terpenting bagi pesawat terbang yang melekat pada Turbofan Engine CFM56-7B. IDG *Air/Oil Cooler* berperan sebagai pendingin IDG Oil agar IDG tetap dapat menyuplai kelistrikan untuk pesawat terbang. IDG menyediakan semua kebutuhan kelistrikan untuk semua sistem pesawat [3]. Generator menggunakan energi kinetik dari engine melewati accessory gearbox menjadi energi listrik. Dengan adanya energi kinetik yang terjadi secara terus menerus, salah satu akibat yang dapat ditimbulkan adalah *overheat*. Oleh sebab itu pada IDG diperlukan pendingin yang berasal dari Oil.

Berdasarkan data *maintenance report* (marep) dari perusahaan PT GMF AeroAsia periode Januari 2017 – April 2022, IDG *Air/Oil Cooler* sering mengalami kegagalan berupa *leak* yang mana kegagalan tersebut tidak dapat ditoleransi kerusakannya. Kerusakan pada IDG *Air/Oil Cooler* dapat menyebabkan keausan pada komponen yang terdapat IGD akibat *overheat* [3]. Kerusakan yang terjadi ketika pesawat beroperasi akan menimbulkan delay untuk penerbangan selanjutnya akibat perbaikan yang diperlukan pada IDG *Air/Oil Cooler*. Guna mencegah kegagalan tersebut maka diperlukan adanya pengontrolan, jika ditemukan sebuah kegagalan dari komponen maka akan dilakukan perbaikan [4]. Dengan belum adanya kebijakan waktu perbaikan atau penggantian komponen IDG *Air/Oil Cooler* yang berbuntut kerugian operasional, maka dari itu dilakukan pembahasan mengenai laju kegagalan guna memperoleh kebijakan perawatan yang tepat untuk komponen IDG *Air/Oil Cooler* pada Turbofan Engine CFM56-7B Pesawat Boeing 737-800.

Pada penelitian ini digunakan variabel *lifetime* komponen pesawat. Komponen yang bersifat dapat diperbaiki memerlukan pendekatan yang berbeda dalam analisis. *Power Law Proses* atau biasa disebut dengan *Weibull proses* dengan mengaplikasikan metode *Non-Homogeneous Poisson Proses* untuk model *reliability* dimana model ini akan sangat berguna untuk jenis *repairable system* [5] untuk menjelaskan karakteristik komponen. Karakteristik yang didapat digunakan untuk menggambarkan dalam bentuk *Weibull*. Adapun hasil dari penelitian berupa analisa keandalan komponen, sehingga diketahui usia komponen pada kondisi lapangan, kemudian dilakukan perencanaan perawatan sehingga memaksimalkan penggunaan komponen tersebut.

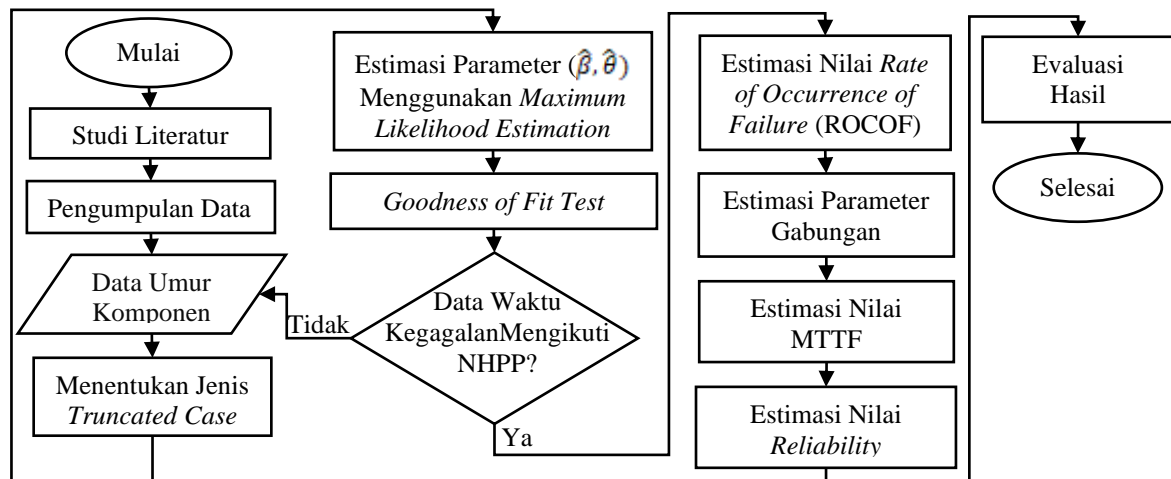
2. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan data yang bersumber dari MAREP (*Maintenance Report*) yaitu khususnya pada IDG *Air/Oil Cooler* Pesawat Boeing 737-800. Variabel yang digunakan adalah data umur komponen IDG *Air/Oil Cooler* dengan satuan *flight hours* yang terhitung sejak awal penggunaan komponen atau *Time Since New* (TSI) pada pesawat hingga komponen tersebut mengalami kerusakan pertama sampai dengan waktu kerusakan yang ditentukan. Data yang digunakan adalah periode Januari 2017 sampai dengan April 2022.

Tabel 1. Struktur tabel data

Kerusakan ke- n	Serial Number			
	1	2	3	4
1	$t_{i_{1,1}}$	$t_{i_{1,2}}$	$t_{i_{1,3}}$	$t_{i_{1,4}}$
2	$t_{i_{2,1}}$	$t_{i_{2,2}}$	$t_{i_{2,3}}$	$t_{i_{2,4}}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n_K	$t_{i_{n_K,1}}$	$t_{i_{n_K,2}}$	$t_{i_{n_K,3}}$	$t_{i_{n_K,4}}$

Variabel $t_{i_{1,1}}$ merupakan waktu kegagalan yang pertama yang terjadi pada serial number 1, $t_{i_{2,1}}$ merupakan waktu kegagalan kedua pada serial number 1, $t_{i_{n_K,1}}$ waktu kegagalan ke- n pada serial number 1 serta n_K jumlah kegagalan yang terjadi.



Gambar 1. Flowchart penelitian

Berdasarkan *flowchart* penelitian dapat dilakukan pengolahan data dengan tahap-tahap seperti penjelasan berikut:

- a. Mulai
Merupakan tahap untuk menentukan latar belakang mengenai tema penelitian serta rumusan masalahnya.
- b. Studi literatur
Melakukan kajian dan observasi mengenai komponen jenis pesawat yang dijadikan objek penelitian. Dalam penelitian ini komponen yang diteliti adalah IDG *Air/Oil Cooler* Pesawat Boeing 737-800.
- c. Pengumpulan data
Merupakan data umur penggunaan IDG *Air/Oil Cooler* sejak umurnya baru hingga mengalami kerusakan dan perbaikan tertentu sejak Januari 2017 sampai dengan April 2022.
- d. Data umur komponen
Merupakan langkah input data umur komponen IDG *Air/Oil Cooler* yang digunakan sebagai bahan penelitian.
- e. Menentukan jenis truncated case
Merupakan langkah untuk menentukan data yang digunakan memiliki karakteristik *failure truncated data* atau *time truncated data*.
- f. Estimasi parameter (β, θ) menggunakan *maximum likelihood estimation*
Melakukan perhitungan estimasi parameter β dan θ terhadap data analisis IDG *Air/Oil Cooler*.
- g. *Goodnes of fit test*
Tahap melakukan pengujian kesesuaian penggunaan metode Power law Process (PLP) terhadap hasil parameter β dan θ IDG *Air/Oil Cooler*.
- h. Estimasi nilai *rate of occurrence of failure* (ROCOF)
Langkah melakukan estimasi nilai ROCOF untuk mendapatkan sifat atau karakteristik laju kegagalan pada IDG *Air/Oil Cooler*
- i. Estimasi parameter gabungan
Melakukan penggabungan nilai parameter setiap *serial number* IDG *Air/Oil Cooler* sehingga didapatkan sifat umum dari komponen tersebut.
- j. Estimasi nilai MTTF
Tahap melakukan perhitungan untuk mendapatkan waktu rata-rata pengoperasian dari komponen IDG *Air/Oil Cooler*.
- k. Estimasi *reliability*
Pengolahan data yang menghasilkan probabilitas pada suatu komponen tetap mampu melakukan fungsi sesuai dengan tujuannya.
- l. Evaluasi hasil
Merupakan tahap analisa hasil dari pengolahan data sehingga didapatkan rekomendasi perawatan yang tepat.
- m. Selesai
Merupakan tahap menyimpulkan dari hasil penelitian yang telah selesai dilakukan.

Pengolahan data dilakukan dengan bantuan *Microsoft Excel* dimana terlebih dahulu menentukan jenis *truncated data* pada data penelitian. *Time truncated data* digunakan pada penelitian karena data penelitian memiliki 4 sample komponen dengan fungsi dan karakteristik yang sama. Selanjutnya persamaan (1) dan (2) digunakan untuk melakukan estimasi parameter $\hat{\beta}$ dan $\hat{\theta}$ pada komponen.

$$\hat{\beta} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{T}{t_i} \right)} \quad (1)$$

dan

$$\hat{\theta} = \frac{T}{n\hat{\beta}} \quad (2)$$

Dimana,

- $\hat{\beta}$: *shape parameter* untuk objek penelitian
- $\hat{\theta}$: *scale parameter* untuk objek penelitian
- Σ : *summary*
- n : jumlah kegagalan
- i : *adjusted rank*
- \ln : *logaritma natural*
- T : ketetapan waktu umur
- t_n : waktu umur hingga kegagalan terakhir
- t_i : waktu hingga kejadian kegagalan

Guna mengetahui kesesuaian data terhadap metode yang digunakan, dilakukan pengujian terhadap data komponen tersebut. Pengujian dilakukan guna memperoleh hipotesis dari suatu data untuk melihat seberapa dekat yang diharapkan terhadap data yang diamati sehingga data valid dan reliabilitas [6]. Persamaan (3) digunakan dalam pengujian data penelitian.

$$C^2 = \frac{1}{12M} + \sum_{i=1}^M \left(z_i^{\hat{\beta}} - \frac{2i-1}{2M} \right)^2 \quad (3)$$

Dimana,

- $\hat{\beta}$: *unbiased conditioned*
- C : *Cramer-von Mises Test value*
- M : *adjusted rank maksimum truncated case*
- Z_i : *transformation truncated case*

Setelah mengetahui bahwa data pengujian terhadap metode *Power Law Process* (PLP) diterima, maka perhitungan nilai ROCOF pada data tersebut adalah valid. Perhitungan nilai ROCOF untuk mengetahui sifat atau karakteristik laju kegagalan pada komponen yang dapat dialukan melalui persamaan (4).

$$w(t) = \frac{\hat{\beta}}{\hat{\theta}} \left(\frac{t}{\hat{\theta}} \right)^{\hat{\beta}-1} \quad (4)$$

Dimana,

- $w(t)$: *rate of occurrence of failure*
- $\hat{\beta}$: *shape parameter* untuk objek penelitian
- $\hat{\theta}$: *scale parameter* untuk objek penelitian
- t : *waktu*

Setelah mendapatkan sifat atau karakteristik laju kegagalan untuk setiap komponen, maka dilakukan estimasi paramater gabungan sehingga didapatkan sifat umum dari komponen tersebut. Perhitungan parameter gabungan komponen dapat digunakan persamaan (5) dan (6).

$$\beta = \frac{n}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \ln \left(\frac{T}{t_{ij}} \right)} \quad (5)$$

dan

$$\theta = \frac{T}{n\beta} \quad (6)$$

Dimana,

β	: <i>shape parameter</i> gabungan
θ	: <i>scale parameter</i> gabungan
n	: Jumlah kegagalan
Σ	: <i>summary</i>
i	: <i>adjusted rank</i>
\ln	: <i>logaritma natural</i>
T	: ketetapan waktu umur
t_n	: waktu umur hingga kegagalan terakhir
t_i	: waktu hingga kejadian kegagalan

Selanjutnya dilakukan estimasi nilai *mean time to failure* (MTTF) untuk mengetahui waktu rata-rata operasional komponen serta melakukan estimasi nilai *reliability* untuk mengetahui probabilitas pada suatu komponen tetap mampu melakukan fungsi sesuai dengan tujuannya [7]. Nilai MTTF dapat dihitung menggunakan persamaan (7).

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (7)$$

Dimana,

$MTTF$: <i>safety value</i>
β	: <i>shape parameter</i> gabungan
θ	: <i>scale parameter</i> gabungan
Γ	: <i>gamma function</i>
t	: <i>waktu</i>

Sedangkan untuk menghitung nilai *reliability* IDG Air/Oil Cooler dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (8).

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad (8)$$

Dimana,

$R(t)$: <i>reliability</i>
e	: <i>eksponensial</i>
β	: <i>shape parameter</i> gabungan
θ	: <i>scale parameter</i> gabungan

Proactive task adalah sebuah kegiatan yang dilakukan sebelum suatu komponen mengalami kegagalan guna mencegah komponen tersebut terhindar dari kondisi yang menyebabkan kegagalan. Kegiatan perawatan ini juga sering dikenal sebagai *predictive maintenance* dan *preventive maintenance* [8]. Adapun *reactive maintenance* yang merupakan tindakan yang dilakukan setelah alat tersebut mengalami kegagalan. Kegiatan perawatan ini juga sering dikenal sebagai *corrective maintenance*. Dalam melakukan evaluasi, acuan untuk menentukan bentuk *maintenance* yang sesuai dengan komponen berdasarkan dari nilai analisis laju kegagalan yang terus berubah terhadap waktu untuk menentukan bentuk *maintenance* yang sesuai dengan komponen berdasarkan dari nilai analisis laju kegagalan yang terus berubah terhadap waktu. Terdapat 3 fase laju kegagalan yaitu *burn in* merupakan sebuah fase awal dari suatu komponen setelah diproduksi dimana terdapat laju kegagalan yang terus mengalami penurunan terhadap perubahan waktu, *useful life* merupakan sebuah fase dimana suatu komponen yang mengalami kegagalan memiliki nilai kegagalan konstan yang mana tidak mengalami perubahan terhadap waktu, dan *wear out* merupakan sebuah fase dimana kegagalan yang dialami suatu komponen memiliki laju kegagalan yang meningkat terhadap perubahan waktu [8].

Perawatan *corrective maintenance* dilakukan setelah komponen mengalami kegagalan sedangkan pada *preventive maintenance* perawatan dilakukan sebelum komponen tersebut mengalami kegagalan. Secara matematis, *preventive maintenance* dapat dirumuskan pada fungsi (9) sebagai berikut berikut.

$$Rm(t) = \exp \left[-n \left(\frac{T}{\theta} \right)^{\beta} \right] \exp \left[- \left(\frac{t - (nT)}{\theta} \right)^{\beta} \right] \quad (9)$$

Dimana,
 $Rm(t)$: keandalan objek setelah kegiatan *cumulative preventive maintenance* diimplementasikan
 $R(T)^n$: probabilitas kemampuan ketahanan sampai dengan *preventive maintenance* ke- n
 $R(t - nT)$: *preventive maintenance* dimana probabilitas kemampuan ketahanan objek selama jangka waktu $t - nT$ yang telah ditentukan.
 exp : *natural logarithm*
 n : jumlah tindakan *preventive maintenance*
 T : waktu interval *preventive maintenance*
 t : waktu
 β : *shape parameter* gabungan
 θ : *scale parameter* gabungan

3. HASIL DAN ANALISIS (10 PT)

IDG Air/Oil Cooler adalah komponen yang memanfaatkan *fan air* untuk mengurangi *temperatur* pada IDG oil [3]. Tujuan komponen tersebut untuk mengurangi *temperatur* IDG oil adalah untuk menghindari kerusakan komponen internal dari IDG. Kegagalan yang terjadi pada IDG Air/Oil Cooler pesawat Boeing 737-800 selama kurun waktu Januari 2017 – April 2022 berupa *core body dirty* dan *leak*. Adapun beberapa penyebab terjadinya kerusakan pada IDG Air/Oil Cooler berupa penyumbatan pada saluran *oil*, korosi akibat interaksi terhadap keadaan lingkungan yang bervariasi, serta jam operasi yang lama.

3.1 Karakteristik Data

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan menggunakan karakteristik *time truncated case* dengan jumlah kerusakan sebanyak 2 dimana nilai T yang ditetapkan adalah sebesar 27972 *flight hours*. Karakteristik data umur IDG Air/Oil Cooler pada masing-masing *serial number* yang didapatkan adalah sebagai berikut.

Kerusakan	Serial Number			
ke- n	7724	7412	8815	9105
1	19581 <i>flight hours</i>	20857 <i>flight hours</i>	6840 <i>flight hours</i>	5769 <i>flight hours</i>
2	20259 <i>flight hours</i>	27972 <i>flight hours</i>	23632 <i>flight hours</i>	24983 <i>flight hours</i>

Waktu kerusakan paling awal pada *serial number* 7724 adalah selama 19581 *fligh hours*, setelah itu komponen mengalami perbaikan dan beroperasi kembali secara normal hingga mengalami kerusakan kedua pada saat IDG Air/Oil Cooler telah berumur 20259 *flight hours* sejak komponen digunakan.

3.2 Estimasi Parameter Menggunakan Metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE)

Estimasi parameter β dan θ dari data usia IDG Air/Oil Cooler dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* pada *time truncated case*. Persamaan (1) dan persamaan (2) digunakan untuk menentukan parameter β dan θ IDG Air/Oil Cooler yang dapat dituliskan sebagai berikut.

Serial Number	Estimasi Parameter	
	β	θ
7724	2,944427586	22104,78687
7412	6,81397605	25266,50676
8815	1,26821589	16194,16553
9105	1,182233161	15563,0689

Nilai dari parameter $\hat{\beta}$ dan $\hat{\theta}$ yang didapatkan akan digunakan untuk mengetahui sifat *Rate of Occurrence of Failure* (ROCOF) untuk PLP sehingga didapatkan rekomendasi perawatan yang dapat di aplikasikan pada IDG Air/Oil Cooler.

3.3 Goodness of Fit Test

Pengujian ini digunakan untuk melihat kevalidan serta reliable model apakah sesuai dengan metode *Power Law Process* (PLP). Metode *Cramer-von Mises Test* digunakan untuk melihat apakah waktu kerusakan mengikuti *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP) [9]. Hipotesis *null* yang digunakan adalah data umur setiap *serial number* mengikuti *Homogeneous Poisson Process* (HPP) yang mana nilai *Cramer Von-Mises* lebih besar dari nilai *Critical Value*. Untuk mengetahui nilai *Cramer Von-Mises* dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

Tabel 4. Hasil Uji *Cramer-von Mises Test*

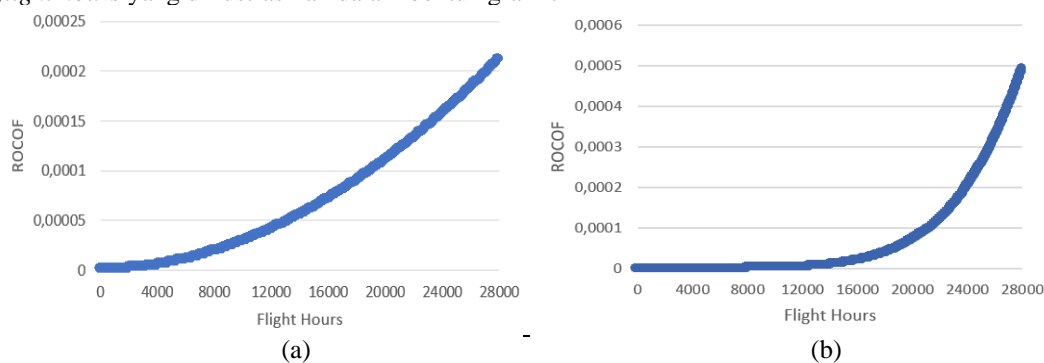
Serial Number	<i>Critical value</i>	C^2	Keputusan
7724	0,175	0,17470825	H_0 ditolak
7412	0,175	0,118062229	H_0 ditolak
8815	0,175	0,089155077	H_0 ditolak
9105	0,175	0,071556558	H_0 ditolak

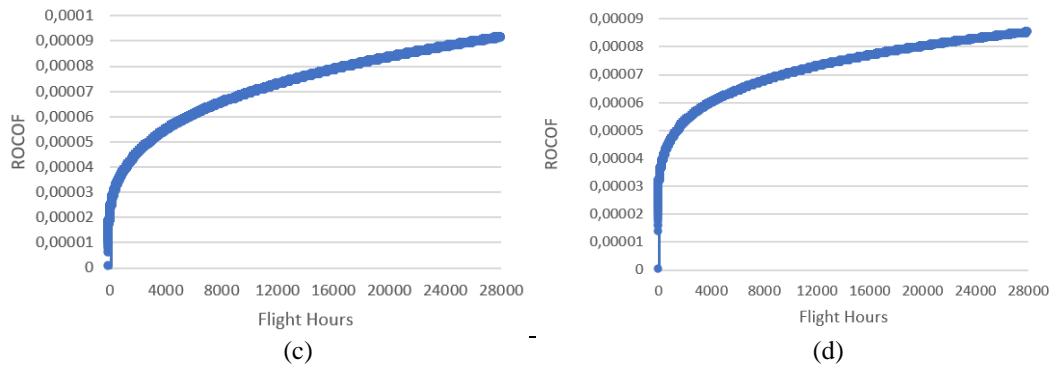
Critical Value untuk pengujian dari IDG Air/Oil Cooler menggunakan *Cramer Von-Mises* dengan menggunakan faktor koreksi sebesar 5% dan M bernilai 2 untuk masing-masing *serial number* didapatkan sebesar 0,175. Nilai statistik uji untuk masing-masing *serial number* memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan nilai dari *Critical Value*, keputusan yang didapat adalah H_0 ditolak. Berdasarkan hal tersebut, dapat dinyatakan bahwa NHPP dengan PLP merupakan model yang sesuai dan valid untuk data kerusakan yang terjadi pada masing-masing *serial number*.

3.4 Estimasi nilai Rate of Occurrence of Failure (ROCOF)

Untuk menentukan nilai laju kerusakan IDG Air/Oil Cooler dilakukan estimasi nilai ROCOF. ROCOF merupakan estimasi dari nilai laju kegagalan atau kerusakan dari suatu sistem, jika suatu sistem *repairable* telah dilakukan pengamatan pada interval waktu $[0, t]$ dengan t dapat ditentukan interval waktunya (*time truncated case*) atau pada kejadian kegagalan terakhir (*time truncated case*) [10]. Nilai ROCOF digunakan sebagai dari evaluasi tindakan perawatan yang direkomendasikan [8]. ROCOF dapat dinyatakan dalam persamaan (4).

Berikut adalah sifat nilai ROCOF dari IDG Air/Oil Cooler yang sesuai dengan PLP dengan interval 1 *flight hours* yang diilustrasikan dalam bentuk grafik.





Gambar 2. Rate of Occurrence of failure (ROCOF) IDG Air/Oil Cooler untuk Masing-Masing Serial Number, (a)7724; (b) 7412; (c) 8815; (d) 9105.

Dari gambar 1 dapat disimpulkan bahwa IDG Air/Oil Cooler mengalami kondisi peningkatan laju kegagalan dimana dari waktu ke waktu kondisi yang dialami komponen lemah atau tidak *reliable*. Berdasarkan hal tersebut, maka laju kegagalan IDG Air/Oil Cooler memiliki sifat *Increasing Failure Rate* (IFR) yang mana sifat tersebut berada dalam fase *wear out* sehingga direkomendasikan untuk menerapkan *preventive maintenance* [8].

3.5 Estimasi Parameter Gabungan

Untuk menentukan karakteristik umum dari IDG Air/Oil cooler, dilakukan estimasi parameter gabungan. Dalam kasus ini, IDG Air/Oil Cooler memiliki sifat dan fungsi yang identik untuk tiap-tiap *serial number*. Estimasi parameter gabungan menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* untuk *time truncated case*. Estimasi parameter gabungan akan menghasilkan parameter β (Shape Parameter) dan θ (Scale Parameter). Persamaan (5) digunakan untuk menentukan parameter β .

$$\beta = \frac{n}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \ln \left(\frac{T}{t_i} \right)}$$

$$\beta = \frac{n}{\left(\sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{T}{t_i} \right)_{7724} + \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{T}{t_i} \right)_{7412} + \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{T}{t_i} \right)_{8815} + \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{T}{t_i} \right)_{9105} \right)}$$

$$\beta = \frac{8}{\left[\left(\ln \left(\frac{27972}{19851} \right) + \ln \left(\frac{27972}{20259} \right) \right)_{7724} + \left(\ln \left(\frac{27972}{202857} \right) + \ln \left(\frac{27972}{27972} \right) \right)_{7412} + \left(\ln \left(\frac{27972}{6840} \right) + \ln \left(\frac{27972}{23632} \right) \right)_{8815} + \left(\ln \left(\frac{27972}{5769} \right) + \ln \left(\frac{27972}{24983} \right) \right)_{9105} \right]}$$

$$\beta = \frac{8}{(0,679249172 + 0,293514387 + 1,577018562 + 1,691713671)}$$

$$\beta = 1,886127063$$

Untuk menghitung nilai dari parameter θ IDG Air/Oil Cooler dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 6.

$$\theta = \frac{T}{n^{\frac{1}{\beta}}}$$

$$\theta = \frac{27972}{8^{\frac{1}{1,886127063}}}$$

$$\theta = 9287,888052$$

Berdasarkan penggunaan persamaan 5 dan 6 untuk menentukan parameter gabungan IDG Air/Oil Cooler, didapatkan nilai β adalah sebesar 1,886127063 sedangkan untuk nilai θ adalah sebesar 9283,888052 yang mana merupakan bentuk dari sifat umum dari komponen tersebut.

3.6 Estimasi Nilai Mean Time to Failure (MTTF)

Untuk mengetahui jumlah waktu rata-rata komponen dapat beroperasi secara normal hingga mengalami kegagalan dalam waktu tertentu sehingga bisa dianggap bahwa nilai MTTF sama dengan umur rata-rata penggunaan komponen [7]. Nilai dari MTTF dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan (7). Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan sebelumnya didapatkan nilai parameter gabungan β dan θ yang sesuai dengan model *power law* yang digunakan dalam estimasi nilai MTTF.

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$\begin{aligned}
 MTTF &= 9287,888052 \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,896127063}\right) \\
 MTTF &= 9287,888052 \Gamma(1,530186974) \\
 MTTF &= 9287,888052 \times 0,88757 \\
 MTTF &= 8180,228022 \text{ flight hours}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapatkan nilai MTTF sebesar 8180,228022 *flight hours* yang menunjukkan usia rata-rata komponen IDG Air/Oil Cooler pada pesawat Boeing 737-800 berdasarkan kondisi lapangan. Hal tersebut berarti bahwa *safety value* penggunaan IDG Air/Oil Cooler adalah sebelum umur IDG Air/Oil Cooler mencapai 8180,228022 *flight hours*.

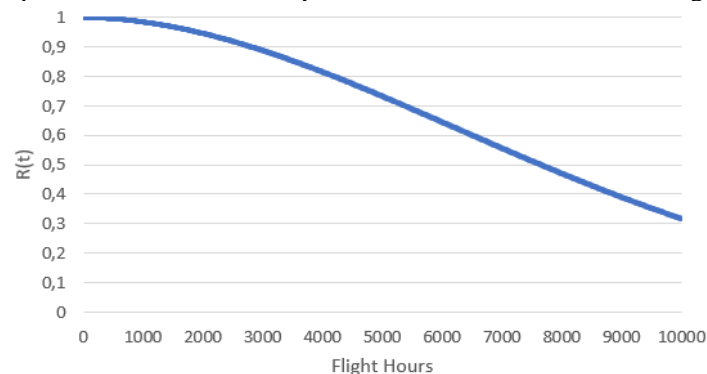
3.7 Reliability

Untuk mengetahui probabilitas kemampuan IDG Air/Oil Cooler tidak mengalami kegagalan pada interval waktu $(0, t)$ diperlukan estimasi nilai *reliability* [7]. Estimasi dari nilai *reliability* juga bertujuan untuk menentukan waktu perawatan yang optimal. Nilai *reliability* komponen dapat dinyatakan melalui persamaan (8). Nilai parameter gabungan β dan θ digunakan dalam perhitungan nilai *reliability* dimana t merupakan interval 1 *flight hours* dengan batas analisis hingga 10000 *flight hours*. Berikut tabel rangkuman nilai *reliability* IDG Air/Oil Cooler berdasarkan persamaan (8).

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Reliability* $R(t)$

t	$R(t)$
0	1
1000	0,985169862
2000	0,946268518
3000	0,888111509
4000	0,81534088
5000	0,732728852
6000	0,64493277
7000	0,556210825
8000	0,470189451
9000	0,389714328
10000	0,316792032

Berdasarkan tabel 5, dapat diilustrasikan *reliability* IDG Air/Oil Cooler dalam bentuk grafik.



Gambar 3. *Reliability* IDG Air/Oil Cooler

3.8 Perencanaan Preventive Maintenance

Preventive maintenance merupakan sebuah program tugas pemeliharaan pencegahan yang berlaku dan efektif yang dirancang untuk mencegah kegagalan dini atau degradasi komponen [8]. Tindakan *preventive maintenance* didasari dari evaluasi ROCOF sehingga diperlukan perencanaan tindakan *preventive maintenance* yang tepat. Perencanaan *preventive maintenance* dilakukan dengan menggunakan nilai acuan *reliability* yaitu sebesar 70% atau sama dengan 0,7. Untuk menentukan waktu kegiatan *preventive maintenance* yang optimal, maka digunakan persamaan (8).

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}}$$

$$70\% = e^{-\left(\frac{t}{9287,888052}\right)^{1,886127063}}$$

$$0,7 = e^{-\left(\frac{t}{9287,888052}\right)^{1,886127063}}$$

$$t = 5376,971543 \text{ flight hours}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh waktu tindakan *preventive maintenance* yang sesuai dengan nilai acuan *reliability* yaitu 70% adalah 5376,971543 *flight hours*. Sesuai dengan kebijakan pelaksanaan perawatan A Check pada Pesawat Boeing 737-800, maka tindakan *preventive maintenance* yang efisien adalah dilakukan setiap 5000 *flight hours* menyesuaikan dengan perawatan A Check.

Untuk mengetahui pengaruh *preventive maintenance* terhadap kemampuan IDG Air/Oil Cooler untuk beroperasi secara optimal, maka dilakukan perhitungan untuk melihat perbandingannya sebelum dan sesudah dilakukan kebijakan *preventive maintenance* yang dituliskan dalam persamaan (9). Rangkuman nilai *reliability* jika *cumulative preventive maintenance* diimplementasikan IDG Air/Oil Cooler terdapat pada tabel 6.

Tabel 6. Data Hasil Perhitungan *Preventive Maintenance* IDG Air/Oil Cooler

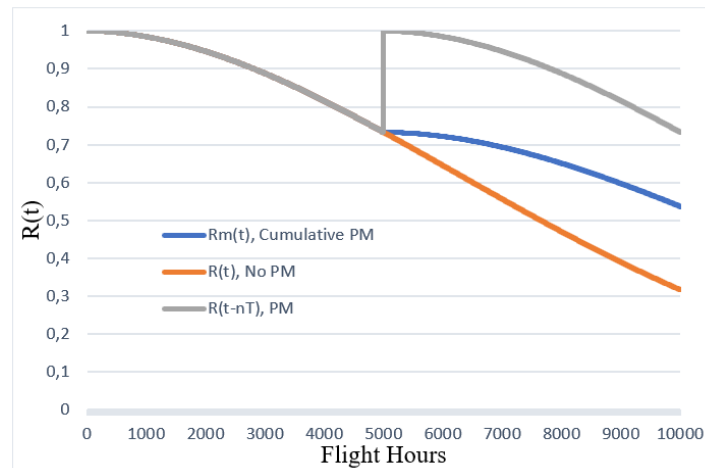
t	T	n	$R_m(t)$
0	5000	0	1
1000	5000	0	0,985169862
2000	5000	0	0,946268518
3000	5000	0	0,888111509
4000	5000	0	0,81534088
5000	5000	0	0,732728852
6000	5000	1	0,721862382
7000	5000	1	0,693358245
8000	5000	1	0,650744927
9000	5000	1	0,597423787
10000	5000	1	0,536891571

Variabel $R_m(t)$ merupakan keandalan objek jika kegiatan *cumulative preventive maintenance* diimplementasikan, n merupakan jumlah tindakan *preventive maintenance*, T waktu interval *preventive maintenance*, serta t merupakan waktu dengan interval 1 *flight hours* dengan pembatasan analisis sampai 10000 *flight hours*. Berikut rangkuman perbandingan nilai *reliability* IDG Air/Oil Cooler sebelum $R(t)$ dan jika diimplementasikan kebijakan *preventive maintenance* $R_m(t)$ dan besar pengaruhnya terhadap waktu.

Tabel 7. Nilai Perbandingan *Reliability* IDG Air/Oil Cooler Sebelum $R(t)$ dan Jika Dilakukannya Kebijakan *Preventive Maintenance* $R_m(t)$ dan Besar Pengaruhnya Berdasarkan Waktu

t	$R(t)$	$R_m(t)$	Pengaruh
0	1	1	0,00%
1000	0,985169862	0,985169862	0,00%
2000	0,946268518	0,946268518	0,00%
3000	0,888111509	0,888111509	0,00%
4000	0,81534088	0,81534088	0,00%
5000	0,732728852	0,732728852	0,00%
6000	0,64493277	0,721862382	11,93%
7000	0,556210825	0,693358245	24,66%
8000	0,470189451	0,650744927	38,40%
9000	0,389714328	0,597423787	53,30%
10000	0,316792032	0,536891571	69,48%

Berdasarkan tabel 7, dapat diilustrasikan *reliability* perbandingan *reliability* IDG Air/Oil Cooler sebelum $R(t)$ dan jika dilakukannya kebijakan *preventive maintenance* $R_m(t)$ dan besar pengaruhnya terhadap waktu.



Gambar 3. Grafik Penerapan *Preventive Maintenance* pada IDG Air/Oil Cooler

Diketahui pada gambar 3 $R_m(t)$, *Cumulative PM* merupakan *reliability* komponen jika diterapkannya *preventive maintenance*, $R(t)$, *No PM* merupakan *reliability* komponen tanpa dilakukannya tindakan *preventive maintenance*, serta $R(t-nT)$, *PM* adalah *preventive maintenance* dimana probabilitas kemampuan ketahanan objek selama jangka waktu $t-nT$ yang telah ditentukan. Berdasarkan gambar 3 terbukti bahwa pemberlakuan *preventive maintenance* jika diaplikasikan pada IDG Air/Oil Cooler memiliki kemampuan yang lebih tinggi untuk terhindar dari kegagalan. Hal ini ditandai dengan nilai keandalan dari komponen tersebut memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan nilai keandalan komponen tanpa dilakukannya *preventive maintenance* sehingga tindakan *preventive maintenance* efektif. Sehingga direkomendasikan tindakan *preventive maintenance* yang dilakukan setiap interval 5000 *flight hours* guna memperpanjang usia pakai komponen.

4. KESIMPULAN

Dari pengolahan data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Dari hasil analisis, diketahui pada IDG Air/Oil Cooler memiliki nilai *Rate of Occurrence of Failure* (ROCOF) yang meningkat seiring berjalannya waktu sehingga sifat ROCOF IDG Air/Oil Cooler termasuk dalam fase *wear-out* sehingga tindakan perawatan yang direkomendasikan adalah *preventive maintenance*.
2. Berdasarkan hasil dari perhitungan, didapatkan *trend* dari *reliability* IDG Air/Oil Cooler yang cukup baik dengan karakteristik menurun sehingga dapat dikatakan bahwa kemampuan IDG Air/Oil Cooler untuk beroperasi normal secara terus menerus hingga mengalami kegagalan menurun terhadap waktu. *Reliability* pada IDG Air/Oil Cooler terhadap nilai acuan *reliability* 70% yaitu 5376,971543 *flight hours*.
3. Pada analisis *preventive maintenance* pada IDG Air/Oil Cooler, diketahui bahwa jika diaplikasikan *preventive maintenance* dengan interval setiap 5000 *flight hours* memiliki pengaruh yang amat baik terhadap kemampuan IDG Air/Oil Cooler terhindar dari kegagalan dengan nilai yang *reliability* yang lebih baik jika dibandingkan terhadap nilai *reliability* tanpa dilakukannya *preventive maintenance*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. F. Aksioma, H. and N. A. Tyas, "Penentuan Kebijakan Waktu Optimum Perbaikan Komponen Heat Exchanger - (HE) Pesawat Boeing 737-800 Menggunakan Metode Power Law Process di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) Aero Asia," *Jurnal Sains dan Seni*, vol. 5, no. 1, pp. D-1 - D-6, 2016.
- [2] A. Anand and M. Ram, *System Reliability Management: Solutions and Technologies*, United State of America: Taylor & Francis Group, 2019.
- [3] Boeing, "Generator Drive - Air/Oil Cooler," in *Aircraft Maintenance Manual ATA 24*, Seattle, 2015, pp. 16-18.
- [4] Boeing, "IDG Air/Oil Cooler - Maintenance Practice," in *Aircraft Maintenance Manual ATA 24*, Seattle, 2019, pp. 201-2014.
- [5] A. L. Cheng and F. K. Leung, "Determining Replacement Policies for Bus Engines," *International Journal Quality & Reliability Management*, vol. 17, no. 7, pp. 771-783, 2000.
- [6] L. Crow, in *Evaluating the Reliability of Repairable Systems*, 1990, Annual Reliability and Maintainability

- Symposium, 1990, pp. 275-279.
- [7] C. E. Ebeling, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, United State of America: McGraw-Hill, 1997.
 - [8] M. Karbasian and Z. Ibrahim, "Estimation of Parameters of the Power-Law-Nonhomogeneous Poisson Proses in the Case of Exact Failure Data," *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, vol. 21, pp. 105-110, 2010.
 - [9] Kementrian Perhubungan RI, *Civil Aviation Safety Regulation Part 43 tentang Maintenance, Preventive Maintenance, Rebuilding, dan Alteration*, Jakarta, 2000.
 - [10] M. Mora, "Telaah Literatur Tentang Program Perawatan Pesawat Udara," *Jurnal Penelitian Perhubungan Udara WARTA ARDHIA*, vol. 38, no. 4, pp. 356-372, 2012.
 - [11] Pemerintah Indonesia, *Undang-Undang No. 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan*, Jakarta, 2009.
 - [12] M. Rausand and A. Hoyland, *System Reliability Theory and Statistical Methods*, United State of America: John Wiley & Sons, 2004.
 - [13] S. E. Rigdon and A. P. Basu, "The Power Law Process: A Model for the Reliability of Repairable Systems," *Journal of Quality Technology*, vol. 21, no. 4, pp. 251-260, 1989.
 - [14] D. R. F. Saputra, Y. Sukmono and D. Fathimahhayati, "Analisis Reliability Pada Mesin Fan Mill Uni 1 di PT Cahaya Fajar Kaltim," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 1-8, 2018.
 - [15] A. B. F. R. Triyanto and B. , "Studi Keandalan Komponen Igniter Plug Pada Pesawat Boeing 737-800," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, Jakarta, 2021.