

REKOMENDASI PERAWATAN KOMPONEN AIR CYCLE MACHINE (ACM) PADA PESAWAT B737-900ER

Berni Anisafitri¹, Fajar Khanif Rahmawati², Sri Mulyani³

Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta
bernianisafitri24@gmail.com, fajar.khanif@gmail.com, srimulyani042@gmail.com,

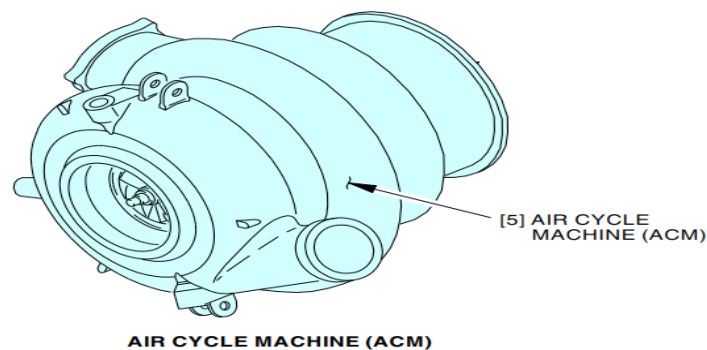
Abstract

Analysis with the Weibull distribution method shows that the right treatment recommendations for treating air cycle machine (ACM) in the form of category preventive maintenance time directed (TD), due to category preventive maintenance Time Directed (TD) is a category of preventive maintenance that can be carried out if the time variable of a component or system is known and directly aims to prevent damage.

Keywords: Recommendation, Maintenance, weibull

1. Pengantar

Komponen *Air Cycle Machine* (ACM) merupakan komponen yang penting dalam *air conditioning system*. ACM digunakan untuk proses kompresi dan ekspansi udara yang mengalir untuk memfasilitasi mesin pendingin udara, ACM menghasilkan udara precooled menengah untuk memfasilitasi ekstraksi udara pada tekanan tinggi dengan menggunakan tenaga mesin yang dihasilkan oleh turbin. Ketika terjadi penurunan kemampuan fungsi komponen ini, Suhu akan meningkat dan aliran udara dalam pesawat terbang akan berkurang, sehingga jika komponen ini mengalami kerusakan maka akan berakibat terganggunya kenyamanan penumpang. Hal ini menimbulkan kerugian yang besar bagi perusahaan maskapai penerbangan maupun bagi pelanggan.



Gambar 1. *Air Cycle Machine* (ACM)

Perawatan dilakukan untuk mempertahankan kondisi laik udara. Perawatan dilakukan untuk menjaga kondisi pesawat (sebagai tindakan preventif) dan upaya mengembalikan ke kondisi semula setelah mengalami kerusakan (tindakan korektif).

Pada dasarnya perawatan dilakukan agar reliabilitas komponen terjaga. Reliabilitas adalah kemampuan suatu peralatan untuk tidak rusak selama operasi. Jika suatu peralatan bekerja baik dan bekerja bilamana diperlukan untuk melakukan pekerjaan sesuai dengan rancangannya, peralatan tersebut dikatakan dapat diandalkan.

2. Metodologi Penelitian

a. Pengamatan Data

Langkah awal penelitian ini adalah pengamatan terhadap data *unschedule removal* ACM pesawat B737-900ER yang diberikan oleh Batam Aero Tecnic. Data tersebut dari bulan Januari 2020 hingga September 2022. Dari priode tahun yang diteliti didapat 22 kasus *unschedule removal* komponen ACM

b. Studi Pustaka

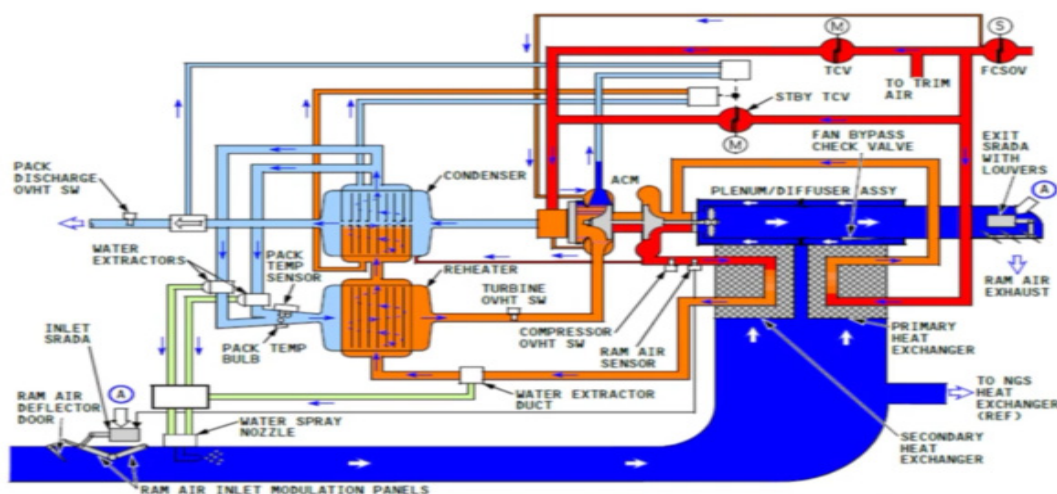
Pengumpulan data menggunakan metode ini dilakukan dengan mengambil data yang bersumber dari literature seperti perpustakaan, *e-book* dari media internet, *Aircraft Maintenance Manual* (AMM) ATA 21-51-04 *air cycle machine* serta buku panduan lainnya yang mendukung penelitian ini.

c. Personal interview

Pengumpulan data menggunakan metode ini dilakukan dengan berdialog dengan pihak yang berpengalaman dan berkompeten dibidangannya. Pada dasarnya metode ini dilakukan untuk memperluas wawasan dalam menarik kesimpulan, dan sifat data dari wawancara ini hanya sebagai data sekunder.

d. Alur Proses Pengkondisian Udara

Pada gambar 2 dibawah ini memperlihatkan alur proses dari terbentuknya udara terkondisi oleh *air conditioning system* sebuah pesawat Boeing 737-900ER



Gambar 2. Schematic Air Conditioning System

Udara pneumatic yang digunakan dalam *air conditioning system* masuk melalui *flow control shut off valve* (FCSOV), ketika udara telah melewati FCSOV udara akan terbagi ke tiga bagian yaitu menuju *primary heat exchanger*, menuju *Temperature Control valve* (TCV) dan menuju ke *standby Temperature Control valve* (TCV). Udara yang mengarah ke *primary heat exchanger* adalah udara yang akan diturunkan temperaturnya atau udara yang akan di kondisikan. Sedangkan udara yang mengarah ke TCV dan ke *standby TCV* adalah udara yang digunakan untuk mentrim *out put* dari turbin ACM.

Setelah melalui *primary heat exchanger* udara akan masuk ke kompresor ACM, lalu udara akan dikompresikan sehingga mengalami kenaikan temperatur. Setelah melewati kompresor

ACM udara akan didinginkan kembali oleh *secondary heat exchanger*. Udara yang telah melewati *secondary heat exchanger* akan mengalami penurunan temperatur, lalu udara akan melewati *water extractor duct* disini udara akan disaring. Partikel air yang terkandung didalam udara akan dikumpulkan untuk *water spray nozzle* agar *colling* dari *ram inlet* semakin maksimal.

Setelah melewati *water extractor duct*, udara akan melalui *reheater*. *Reheater* berfungsi untuk menghangatkan udara agar udara yang masuk ke turbin ACM tidak terlalu dingin yang bisa menyebabkan pembekuan atau *icing*. Setelah melalui *reheater* udara akan masuk ke *condensor*, disini udara di kondensasikan menggunakan udara dingin *output* dari turbin ACM sehingga diharapkan partikel udara dengan air sudah benar-benar terpisah. Setelah melalui *condensor* udara akan masuk ke *water extractor*. Disini udara akan disaring kembali untuk memisahkan antara air dengan udara. Air akan dialirkan untuk *water spray nozzle* untuk membantu *cooling* dari *heat exchanger*.

Setelah air dan udara terpisah udara akan diarahkan kembali menuju *reheater* dan akan mengalir kembali ke turbin ACM. Pada turbin ini terjadi ekspansi sehingga menyebabkan lebih dingin. *Output* dari Turbin ACM ini digunakan untuk mengkondensasikan udara yang ada di *condensor*, dan di turbin ACM ini merupakan tempat masuknya udara panas yang berasal dari TCV dan *standbay* TCV agar *output* udara yang dikondisikan sesuai dengan yang diinginkan. Apabila terjadi perbedaan *pressure* akan dideteksi bahwa ada *icing* di *condensor*, jika ditemukan *icing* di *condensor standbay* TCV akan mengalirkan udara panas ke output turbin ACM sehingga diharapkan dapat memecahkan es maka tidak ada es yang memblok di *condensor*. Setelah udara melewati *condensor* udara akan mengalir ke *mix manifold*. Udara yang sudah keluar dari *pack air conditioning system* adalah udara yang telah terkondisikan sudah sesuai dengan yang diinginkan dan sudah sesuai dengan temperatur yang di setting di *cockpit* pesawat. Setelah keluar di *pack discharge* udara masuk ke *mix manifold* dan di distribusikan ke *cockpit*, untuk *cooling avionics compartment*, *avionics equipment*, komponen-komponen *elektronik*, untuk *pressurize* pesawat, dan kabin pesawat.

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini merupakan data *unschedule removal* periode Januari 2020 sampai dengan September 2022.

Tabel 1. Data Unschedule Removal

No	Komponen	Time Failure (hours)
1	Air Cycle Machine	2093
2	Air Cycle Machine	8297
3	Air Cycle Machine	9185
4	Air Cycle Machine	16037
5	Air Cycle Machine	20836
6	Air Cycle Machine	22029
7	Air Cycle Machine	22504
8	Air Cycle Machine	22699
9	Air Cycle Machine	23029
10	Air Cycle Machine	23119
11	Air Cycle Machine	23733

12	Air Cycle Machine	24000
13	Air Cycle Machine	25031
14	Air Cycle Machine	26983
15	Air Cycle Machine	27823
16	Air Cycle Machine	28034
17	Air Cycle Machine	30943
18	Air Cycle Machine	31388
19	Air Cycle Machine	32753
20	Air Cycle Machine	33195
21	Air Cycle Machine	33338
22	Air Cycle Machine	34137

a. Perhitungan Median Rank

Tabel 2. Perhitungan *Median Rank Air Cycle Machine*

No	Time Failure (hours)	Median Rank
1	2093	0,0313
2	8297	0,0759
3	9185	0,1205
4	16037	0,1652
5	20836	0,2098
6	22029	0,2545
7	22504	0,2991
8	22699	0,3438
9	23029	0,3884
10	23119	0,4330
11	23733	0,4777
12	24000	0,5223
13	25031	0,5670
14	26983	0,6116
15	27823	0,6563
16	28034	0,7009
17	30943	0,7455
18	31388	0,7902
19	32753	0,8348
20	33195	0,8795
21	33338	0,9241
22	34137	0,9688

Berdasarkan hasil tabel perhitungan diatas nilai median rank naik seiring dengan bertambahnya *flight hours* dari pesawat.

b. Perhitungan variabel X dan Y

Tabel 4. Perhitungan Variabel X dan Y Pada Kegagalan *Air Cycle Machine*

No	Time Failure (hours)	Median Rank	X	Y	X.Y	X ²	Y ²
1	2093	0,0313	-3,4499	7,6464	-26,37918	11,90183	58,46673
2	8297	0,0759	-2,5392	9,0236	-22,91311	6,44768	81,42625
3	9185	0,1205	-2,0523	9,1253	-18,72768	4,21183	83,27159
4	16037	0,1652	-1,7118	9,6827	-16,57493	2,93032	93,75379
5	20836	0,2098	-1,4461	9,9444	-14,38025	2,09109	98,89184
6	22029	0,2545	-1,2254	10,0001	-12,25373	1,50150	100,00230
7	22504	0,2991	-1,0345	10,0214	-10,36730	1,07021	100,42943
8	22699	0,3438	-0,8646	10,0301	-8,67216	0,74756	100,60243
9	23029	0,3884	-0,7100	10,0445	-7,13117	0,50404	100,89217
10	23119	0,4330	-0,5666	10,0484	-5,69330	0,32102	100,97054
11	23733	0,4777	-0,4316	10,0746	-4,34816	0,18627	101,49800
12	24000	0,5223	-0,3027	10,0858	-3,05302	0,09163	101,72355
13	25031	0,5670	-0,1780	10,1279	-1,80285	0,03169	102,57376
14	26983	0,6116	-0,0558	10,2030	-0,56922	0,00311	104,10044
15	27823	0,6563	0,0656	10,2336	0,67172	0,00431	104,72694
16	28034	0,7009	0,1881	10,2412	1,92636	0,03538	104,88163
17	30943	0,7455	0,3138	10,3399	3,24450	0,09846	106,91358
18	31388	0,7902	0,4456	10,3542	4,61430	0,19860	107,20906
19	32753	0,8348	0,5882	10,3967	6,11528	0,34597	108,09241
20	33195	0,8795	0,7494	10,4102	7,80176	0,56166	108,37132
21	33338	0,9241	0,9472	10,4145	9,86438	0,89715	108,46083
22	34137	0,9688	1,2429	10,4381	12,97382	1,54486	108,95471

Berdasarkan data tabel 3 diatas, didapat hasil variable X dan Y maka dilakukan penjumlahan untuk perhitungan parameter selanjutnya. Penjumlahan yang dilakukan antara lain menghitung $\sum X$, $\sum Y$, $\sum x.y$, $\sum x^2$, dan $\sum y^2$. Berikut tabel hasil penjumlahan yang dilakukan

Tabel 5. Tabel Hasil Penjumlahan Variabel X dan Y

Variabel X dan Y	Nilai
$\sum x$	-12,0275
$\sum y$	218,8866
$\sum x.y$	-105,65396
$\sum x^2$	35,72619
$\sum y^2$	2186,21329

Hasil penjumlahan variabel tabel 4 diatas dapat digunakan untuk mencari parameter lainnya yang digunakan dalam analisis weibull.

c. Perhitungan Nilai B

Dalam melakukan perhitungan nilai B digunakan nilai penjumlahan diatas untuk mengetahui nilai B, sehingga :

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}}$$

$$= \frac{-105,65396 - \frac{-12,0275 \cdot 218,8866}{22}}{35,72619 - \frac{(-12,0275)^2}{22}} = 0,48069$$

Setelah dilakukan perhitungan terhadap nilai B didapat bahwa nilai B sebesar 0,48069.

d. Perhitungan Nilai A

Dalam menentukan nilai A digunakan nilai \bar{Y} dan nilai \bar{X} dapat dicari menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\bar{Y} = \frac{\sum y}{n} = \frac{218,8866}{22} = 9,9494$$

dan

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} = \frac{-12,0275}{22} = -0,5467$$

sehingga didapatkan :

$$A = \bar{Y} - B \cdot \bar{X} = 9,9494 - (0,48069 - 0,5467) = 10,21219$$

Setelah dilakukan perhitungan terhadap nilai B didapat bahwa nilai A sebesar 10,21219.

e. Menentukan Nilai β dan η

β adalah shape parameter yang merupakan bentuk dari distribusi weibull. Nilai β dapat dicari menggunakan formula persamaan sebagai berikut :

$$\beta = \frac{1}{B} = \frac{1}{0,48069} = 2,08034$$

η atau scale parameter adalah usia karakteristik komponen yang mengalami *failure*. Formula dalam mencari nilai η yaitu, sebagai berikut:

$$\eta = e^A = 2,718281828^{10,21219} = 27233,06202 \text{ hours}$$

Dimana diketahui bilangan e adalah bilangan natural (EXP) yaitu 2,718281828

Maka, besar nilai β adalah 2,08034 nilai ini nantinya akan menentukan *failur mode* dari komponen *air cycle machine* dan besar nilai η adalah 27233,06202 hours, besar nilai η ini menunjukan umur komponen akan mengalami *failure*.

f. Perhitungan Nilai Koefisien Korelasi

Untuk mencari besarnya nilai koefisien korelasi “r” digunakan persamaan sebagai berikut, yaitu :

$$r = \frac{\sum x \cdot y - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right)} \sqrt{\left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}}$$

$$= \frac{-105,65396 - \frac{-12,0275 \cdot 218,8866}{22}}{\sqrt{\left(35,72619 - \frac{(-12,0275)^2}{22}\right) \sqrt{\left(2186,21329 - \frac{(218,8866)^2}{22}\right)}}}$$

$$= 0,89416$$

Maka, berdasarkan perhitungan diatas besar nilai koefisien korelasinya didapat sebesar 0,89416 artinya bahwa variabel X dan Y terdapat hubungan yang sangat kuat. hal ini menandakan bahwa data dan metode yang penulis gunakan sudah cocok dianalisis. Dibawah ini persamaan yang digunakan untuk mencari koefisien determinasinya

$$r^2 = (r)^2 \times 100\% = (0,89416)^2 \times 100\% = 79,951\%$$

Maka, didapat besar koefisien determinasinya adalah 79,951% artinya kontribusi X terhadap variasi Y sebesar 79,951%. Setelah melakukan perhitungan didapat beberapa hasil dari perhitungan parameter weibull yaitu seperti yang ditampilkan dalam tabel dibawah ini

Tabel 6. Hasil Perhitungan Parameter Weibull

Parameter Weibull	Nilai
B	0,48069
A	10,21219
Shape Parameter ($\beta\beta$)	2,08034
Scale parameter (η)	27233,06202
Koefisien korelasi (r)	0,89416
Koefisien Determinasi (r^2)	79,951%

Setelah perhitungan parameter weibull dapat digunakan untuk menentukan besar nilai *cumulatif distribution function* (CDF), nilai keandalan (*reliability*), besar nilai *failur rate* dan menentukan *nilai mean time to flure* (MTTF) dari komponen *air cycle machine* pesawat Boeing 737-900ER

g. Perhitungan Nilai Cumulative Distribution Function (CDF)

Dalam melakukan perhitungan *Cumulative Distribution function* (CDF) digunakan memasukan nilai β dan η , maka akan diperoleh *Cumulatif Distribution Function* (CDF) *air cycle machine* pada *air conditioning system* pesawat Boeing 737-900ER. Berikut ini adalah contoh perhitungan nilai CDF untuk data 2000 hours.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - 2,718281828 \left(\frac{2000}{27233,06202}\right)^{2,08034} = 0,00436$$

Berikut dibawah ini merupakan tabel hasil perhitungan CDF *air cycle machine* pada *air conditioning system* Boeing 737-900ER dari 2000 hours 44000 hours.

Tabel 7. Perhitungan Cumulatif Distribustion Function air cycle machine

Time (Hours)	F(t)
2000	0,00436
4000	0,01832

6000	0,04208
8000	0,07523
10000	0,11698
12000	0,16623
14000	0,22161
16000	0,28161
18000	0,34464
20000	0,40911
22000	0,47351
24000	0,53644
26000	0,59671
28000	0,65336
30000	0,70565
32000	0,75309
34000	0,79541
36000	0,83256
38000	0,86465
40000	0,89194
42000	0,91480
44000	0,93366

h. Perhitungan Keandalan (Reliability)

Dalam mencari nilai keandalan *air cycle machine* digunakan persamaan

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} = 2,718281828^{-\left(\frac{2000}{27233,06202}\right)^{2,0803}} = 0,99564 \text{ dalam untuk } 2000 \text{ hours.}$$

Di bawah ini merupakan hasil perhitungan nilai keandalan dari pemakaian *air cycle machine* pada *air conditioning system* Boeing 737-900ER dari 2000 hingga 44000 hours.

Tabel 8. Perhitungan nilai keandalan *Air Cycle Machine*

Time (Hours)	R(t)
2000	0,99564
4000	0,98168
6000	0,95792
8000	0,92477
10000	0,88302
12000	0,83377
14000	0,77839
16000	0,71839
18000	0,65536
20000	0,59089
22000	0,52649
24000	0,46356
26000	0,40329
28000	0,34664

30000	0,29435
32000	0,24691
34000	0,20459
36000	0,16744
38000	0,13535
40000	0,10806
42000	0,08520
44000	0,06634

i. Perhitungan Laju Kegagalan (Failure Rate)

Dalam melakukan perhitungan nilai laju kegagalan digunakan persamaan dengan memasukan nilai dari parameter β dan η maka nilai laju kegagalan dapat dicari. Berikut ini adalah contoh perhitungan nilai *failure rate* untuk 2000 *hours*.

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{2,0803}{27233,06202} \cdot \left(\frac{2000}{27233,06202}\right)^{2,0803-1} = 0,000005$$

Dibawah ini adalah tabel hasil perhitungan nilai laju kegagalan (*failure rate*) *air cycle machine* pada *air conditioning system* Boeing 737-900ER dari 2000 hingga 44000 *hours*

Tabel 9. Perhitungan laju kegagalan (*failure rate*) *Air Cycle Machine*

Time (Hours)	$\lambda(t)$
2000	0,000005
4000	0,000010
6000	0,000015
8000	0,000020
10000	0,000026
12000	0,000032
14000	0,000037
16000	0,000043
18000	0,000049
20000	0,000055
22000	0,000061
24000	0,000067
26000	0,000073
28000	0,000079
30000	0,000085
32000	0,000091
34000	0,000097
36000	0,000103
38000	0,000109
40 000	0,000116
42000	0,000122
44000	0,000128

j. *Perhitungan Nilai Mean Time To Failure (MTTF)*

MTTF berguna untuk menghitung rata-rata terjadi kegagalan atau rata-rata suatu komponen dapat berfungsi sampai mengalami kegagalan. Dalam mencari nilai MTTF digunakan persamaan sebagai berikut

$$MTTF = \eta \cdot \Gamma$$

Nilai Γ dapat dilihat pada lampiran, dimana untuk menentukan nilai Γ terlebih dahulu harus mencari besar nilai (x) yaitu dengan persamaan berikut :

$$x = \left[1 + \frac{1}{\beta} \right] = \left[1 + \frac{1}{2,0803} \right] = 1,48$$

Dengan melihat tabel fungsi gamma pada lampiran maka diperoleh nilai Γ sebesar 0,88575
Maka nilai MTTF dapat dicari yaitu :

$$MTTF = 27233,06202 \cdot 0,88575 = 24121,6846 \text{ hours}$$

$$MTTF = 27233,06202 \cdot 0,88575 = 24121,6846 \text{ hours}$$

Besar nilai MTTF yang didapat menunjukkan rata-rata *air cycle machine* pada *air conditioning system* pesawat Boeing 737-900ER bisa di operasikan dengan baik sampai mengalami kegagalan adalah sebesar 24121,6846 *hours*.

Berdasarkan data kerusakan *air cycle machine* pada *air conditioning system* pada pesawat Boeing 737-900ER yang sudah dilakukan pengolahan menggunakan distribusi weibull diperoleh rata-rata *air cycle machine* mengalami kegagalan pada saat pesawat sudah mencapai 24121,6846 *hours* pengoperasian dan untuk mengetahui efektivitas perawatan *air cycle machine* pesawat Boeing 737-900ER diperlukan parameter yang menunjukkan jenis kegagalan yang terjadi pada pesawat tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan di dapatkan bahwa nilai β adalah 2,0803 jenis kegagalan yang terjadi berupa *implies wear out*, kegagalan ini ditandai dengan meningkatnya laju kegagalan (*increasing failure rate*) seiring dengan penggunaan pesawat yang semakin meningkat.

Jenis perawatan yang dianjurkan untuk jenis kerusakan ini adalah perawatan preventive kategori *Time Directed* (TD). Hal ini dilakukan karena sesuai dengan kerusakan yang ada, pada dasarnya perawatan kategori *Time Directed* dapat dilakukan apabila variabel waktu komponen diketahui dan secara langsung bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan dengan dilakukan secara berkala sampai peralatan tersebut tidak dapat diperbaiki kembali seperti semula.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah didapat besar nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) yaitu 24121,6846 *hours*. Besarnya nilai yang didapat mengartikan rata-rata *air cycle machine* *air conditioning system* pesawat Boeing 737-900ER akan berfungsi sampai mengalami kegagalan hingga 24121,6846 *hours*. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan nilai β adalah 2,08034, maka termasuk dalam kategori $\beta > 1$ dimana jenis kegagalan yang terjadi adalah jenis *implies wear out*, kegagalan ini ditandai dengan meningkatnya laju kegagalan (*increasing failure rate*) seiring dengan penggunaan pesawat yang semakin meningkat. Adapun

jenis perawatan yang dianjurkan untuk jenis kerusakan ini adalah perawatan preventif kategori *Time Directed* (TD) dimana *Time directed* adalah kategori perawatan prefentive yang dapat dilakukan apabila variabel waktu dari komponen atau sistem diketahui dan secara langsung bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan.

Daftar Pustaka

- [1] Abernethy, R. B. (1993). *The New Weibull*. 536 Oyster North Palm Beach, Florida: Robert B Abernethy.
- [2] Subiyono, G. (2015). Sistem Operasional *Air Cycle Machine* Pada *Air Conditioning* Pesawat Boeing 737-Series. *Jurnal Teknik STTKD Vol.2, No. 1,,* 13-24.
- [3] Imam Prasetyo. (2012). *Analisis Perawatan Turboprop Engine PT6A-25 Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)*. Yogyakarta: Skripsi, Teknik Penerbangan, STTA.
- [4] Puspita Permatasari. (2016). *Optimasi Waktu Penggantian Komponen Air Cycle Machine (ACM) Pesawat Terbang CRJ-1000 Menggunakan Metode Geometric Process Studi Kasus Pada PT.Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.