



TUGAS AKHIR - SS 141501

**OPTIMASI WAKTU PENGGANTIAN KOMPONEN AIR
CYCLE MACHINE (ACM) PESAWAT TERBANG CRJ-1000
MENGUNAKAN METODE *GEOMETRIC PROCESS*
Studi Kasus pada PT. Garuda Maintenance Facility
(GMF) AeroAsia**

PUSPITA PERMATASARI
NRP 1312 100 070

Dosen Pembimbing
Drs. Haryono, M.Sc

Co. Pembimbing
Diaz Fitra Aksioma, S.Si, M.Si

Program Studi S1 Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - SS 141501

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

PUSPITA PERMATASARI
NRP 1312 100 070

Dosen Pembimbing
Drs. Haryono, M.Sc

Co. Pembimbing
Diaz Fitra Aksioma, S.Si, M.Si

Program Studi S1 Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - SS 141501

**OPTIMIZATION REPLACEMENT TIME POLICY IN AIR
CYCLE MACHINE (ACM) COMPONENT OF CRJ-1000
USING GEOMETRIC PROCESS METHOD
Study Case in PT. Garuda Maintenance Facility
(GMF) AeroAsia**

PUSPITA PERMATASARI
NRP 1312 100 070

Supervisor
Drs. Haryono, M.Sc

Co. Supervisor
Diaz Fitra Aksioma, S.Si, M.Si

Undergraduate Programme of Statistics
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

**OPTIMASI WAKTU PENGGANTIAN KOMPONEN AIR
CYCLE MACHINE (ACM) PESAWAT TERBANG CRJ-1000
MENGUNAKAN METODE *GEOMETRIC PROCESS*
Studi Kasus pada PT. Garuda Maintenance Facility (GMF)
AeroAsia**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains**

pada

**Program Studi S-1 Jurusan Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**PUSPITA PERMATASARI
NRP 1312 100 070**

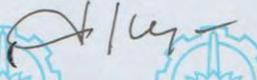
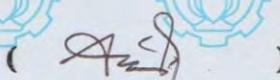
Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Drs. Haryono, M.Sc.

NIP : 19520919 197901 1 001

Diaz Fitra Aksioma, S.Si, M.Si.

NIP : 19870602 201212 2 002

()
()

Mengetahui

Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS

Dr. Suhartono, M.Sc

NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JANUARI 2016

**JURUSAN
STATISTIKA**

**OPTIMASI WAKTU PENGGANTIAN KOMPONEN AIR
CYCLE MACHINE (ACM) PESAWAT TERBANG CRJ-1000
MENGUNAKAN METODE *GEOMETRIC PROCESS*
Studi Kasus pada PT. Garuda Maintenance Facility (GMF)
AeroAsia**

Nama Mahasiswa : Puspita Permatasari
NRP : 1312 100 070
Jurusan : Statistika FMIPA-ITS
Dosen Pembimbing : Drs. Haryono, M.Sc
Co. Pembimbing : Diaz Fitra Aksioma, S.Si, M.Si

Abstrak

Perbaikan dan penggantian komponen mesin pesawat terbang penting dan harus dilakukan karena setiap komponen memiliki batas usia pakai tertentu. Perbaikan pada komponen yang mengalami kerusakan tidak selamanya efisien. Jika komponen yang rusak telah mengalami beberapa kali perbaikan, maka keandalan dari komponen ini akan semakin menurun dan laju kerusakannya akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu penggantian (replacement) komponen Air Cycle Machine (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 yang optimal di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia dengan metode Geometric Process yang menyatakan bahwa setelah komponen diperbaiki maka dianggap memiliki kinerja dan keandalan yang menurun secara linier. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen Air Cycle Machine (ACM) pesawat CRJ-1000 akan diganti setelah terjadi kerusakan yang ke-4 yang dapat meminimumkan biaya penggantian. Estimasi rata-rata biaya penggantian jangka panjang per hari komponen Air Cycle Machine (ACM) pesawat CRJ-1000 yang minimum adalah US\$ 6961.

Kata Kunci : Air Cycle Machine, Optimasi, Geometric Process, Penggantian

**OPTIMIZATION REPLACEMENT TIME POLICY IN AIR
CYCLE MACHINE (ACM) COMPONENT OF CRJ-1000
USING GEOMETRIC PROCESS METHOD
Study Case in PT. Garuda Maintenance Facility (GMF)
AeroAsia**

Name : Puspita Permatasari
NRP : 1312 100 070
Department : Statistika FMIPA-ITS
Supervisor : Drs. Haryono, M.Sc
Co. Supervisor : Diaz Fitra Aksioma, S.Si, M.Si

Abstract

Improvement and replacement in aircraft components are necessary and should be done due to the limited life span of the components. Improvement in damaged components is not always efficient. If the damaged component has undergone several improvements, the reliability of the component would be decreased and the rate of other damages are increasing as time goes by. This study aims to determine the optimal replacement time of Air Cycle Machine (ACM) component of the aircraft CRJ-1000 in PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia using Geometric Process method which stated that after the improvement, the reliability of the component would be decreased linearly. The result of the study shows that the Air Cycle Machine component of aircraft CRJ-1000 should be replaced after the 4th damage and it could minimize the cost of replacement. The estimated average cost per day of a long-term replacement of the component starts at US\$ 6961.

Keywords : Air Cycle Machine, Optimization, Geometric Process, Replacement

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya yang tak pernah henti diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul

**“OPTIMASI WAKTU PENGGANTIAN KOMPONEN AIR
CYCLE MACHINE (ACM) PESAWAT TERBANG CRJ-1000
MENGUNAKAN METODE *GEOMETRIC PROCESS*
Studi Kasus pada PT. Garuda Maintenance Facility (GMF)
AeroAsia”**

dengan baik dan tepat pada waktunya. Penyusunan Tugas Akhir ini tak luput dari bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Drs. Haryono, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah sabar dan memberikan waktunya untuk membimbing dan memberikan masukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Suhartono, M.Sc selaku Ketua Jurusan Statistika yang telah menyediakan fasilitas guna kelancaran pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Diaz Fitra Aksioma selaku dosen co. pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan bantuan berupa saran, dan juga memberikan informasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T selaku dosen penguji dan dosen wali atas segala nasehat dan bimbingan yang berguna selama 7 semester pada saat perwalian, serta Ibu Dra. Sri Mumpuni, M.T selaku dosen penguji atas segala kritikan dan saran yang sangat membangun.
5. Ibu Dra. Lucia Aridinanti, M.T selaku Kaprodi S1 Jurusan Statistika ITS.

6. Pihak PT.Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia, Bapak Derris Surya, Bapak Dinar, dan Bapak Agus yang sangat ramah dan mau membagi ilmu kepada penulis.
7. Mama tercinta Siti Muyasaroh dan Ayahanda tersayang Muchtarom atas doa, nasehat, dan cinta serta kasih sayang yang sangat besar dan luar biasa yang telah diberikan untuk penulis sehingga dapat menjadi motivasi dan penyemangat bagi penulis disaat menghadapi kesulitan serta menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Kakakku tersayang Mohammad Irfan Samsu Nuhan dan Eyang putri tercinta yang selalu memberikan doa, nasehat dan dukungan kepada penulis untuk mengerjakan tugas akhir ini.
9. Teman-temanku tersayang, Aulia Rahma Safitri, Yollafie Asmara, dan Oktaviana Titan Isnani yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas akhir ini.
10. Teman-teman seperjuangan PW 113, serta teman-teman Statistika ITS Σ 23 yang memberikan hangatnya sebuah kebersamaan dan rasa kekeluargaan selama 3,5 tahun ini.
11. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materiil yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyaknya kekurangan dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini, besar harapan bagi penulis untuk dapat menerima saran dan kritik yang bersifat membangun guna perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penelitian selanjutnya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Geometric Process</i> (GP).....	7
2.2 Uji Trend Laplace.....	8
2.3 Estimasi Parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2	9
2.4 Uji <i>Geometric Process</i> (GP).....	10
2.5 Estimasi Mean dan Variansi dari G_n	10
2.6 Kebijakan Penggantian Optimal.....	11
2.7 <i>Air Cycle Machine</i> (ACM).....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Sumber Data.....	17
3.2 Variabel Penelitian.....	17
3.3 Langkah Analisis Penelitian.....	18
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	20
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengujian Trend Umur Komponen ACM dan Lama Waktu Perbaikan.....	23

4.2	Estimasi Parameter $\ln r, \alpha$, dan σ_e^2 untuk Umur Komponen ACM dan Lama Waktu Perbaikan.....	25
4.3	Pengujian <i>Geometric Process</i> (GP) Umur Komponen ACM dan Lama Waktu Perbaikan.....	26
4.4	Estimasi Mean dan Variansi Umur Komponen ACM dan Lama Waktu Perbaikan.....	27
4.4.1	Estimasi Mean dan Variansi Umur Komponen ACM.....	27
4.4.2	Estimasi Mean dan Variansi Lama Waktu Perbaikan Komponen ACM.....	29
4.5	Penentuan Kebijakan Waktu Penggantian Komponen <i>Air Cycle Machine</i> (ACM).....	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	35
5.2	Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA		37
LAMPIRAN		39
BIODATA PENULIS		57

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Komponen <i>Air Cycle Machine</i> (ACM) (a) Letak Komponen ACM di Badan Pesawat (b) Letak Komponen ACM dengan Komponen Lain yang Terdekat 14
Gambar 2.2	Komponen Lain yang Berkaitan dengan ACM..... 16
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian 21
Gambar 4.1	Plot Jumlah Kerusakan (N) dengan Rata-rata Biaya Penggantian Komponen ACM Jangka Panjang per Hari..... 32

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1	Struktur Data 18
Tabel 4.1	Statistik Uji Laplace Umur Komponen ACM dan Lama Waktu Perbaikan ACM 24
Tabel 4.2	Estimasi Parameter Umur Komponen ACM dan Lama Waktu Perbaikan 25
Tabel 4.3	Statistik Uji t Umur Komponen dan Lama Waktu Perbaikan Komponen ACM 26
Tabel 4.4	Estimasi Mean dan Variansi Umur Komponen ACM 27
Tabel 4.5	Estimasi Rata-rata Umur Komponen ACM Berfungsi Baik 28
Tabel 4.6	Estimasi Mean dan Variansi Lama Waktu Perbaikan Komponen ACM 29
Tabel 4.7	Estimasi Rata-rata Lama Waktu Perbaikan Komponen ACM 29
Tabel 4.8	Rata-rata Biaya Penggantian Komponen ACM Jangka Panjang per Hari 31

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A	Data Umur Komponen dan Lama Waktu Perbaikan Komponen <i>Air Cycle Machine</i> (ACM) Pesawat Terbang CRJ-1000 39
Lampiran B	Data Umur Komponen dan Lama Waktu Perbaikan Komponen <i>Air Cycle Machine</i> (ACM) Pesawat Terbang CRJ-1000 setelah diurutkan berdasarkan Tanggal Kerusakan 40
Lampiran C	Syntax Uji Trend Laplace Umur Komponen dan Lama Waktu Perbaikan (MATLAB) 41
Lampiran D	<i>Output</i> Uji Trend Laplace Umur Komponen dan Lama Waktu Perbaikan (MATLAB) 43
Lampiran E	Syntax Uji <i>Geometric Process</i> Data Umur Komponen (MATLAB) 44
Lampiran F	<i>Output</i> Uji <i>Geometric Process</i> Data Umur Komponen (MATLAB) 45
Lampiran G	Syntax Estimasi Mean dan Varians Data Umur Komponen (MATLAB) 46
Lampiran H	<i>Output</i> Estimasi Mean dan Varians Data Umur Komponen (MATLAB) 47
Lampiran I	Syntax Uji <i>Geometric Process</i> Data Lama Waktu Perbaikan (MATLAB) 48
Lampiran J	<i>Output</i> Uji <i>Geometric Process</i> Data Lama Waktu Perbaikan (MATLAB) 49
Lampiran K	Syntax Estimasi Mean dan Varians Data Lama Waktu Perbaikan (MATLAB) 50
Lampiran L	<i>Output</i> Estimasi Mean dan Varians Data Lama Waktu Perbaikan (MATLAB) 51

Lampiran M	Syntax Optimasi Waktu Penggantian Komponen ACM (MATLAB)	52
Lampiran N	<i>Output</i> Optimasi Waktu Penggantian Komponen ACM (MATLAB)	53
Lampiran O	Plot Jumlah Kerusakan (N) Terhadap Rata- rata Biaya Jangka Panjang Penggantian Komponen ACM (MATLAB)	54
Lampiran P	Surat Keterangan Penelitian di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia, Cengkareng.....	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Moda transportasi udara di Indonesia saat ini berkembang pesat. Seiring dengan meningkatnya jumlah pengguna jasa transportasi udara, maka perusahaan penerbangan di Indonesia dituntut untuk semakin meningkatkan pelayanan serta keamanan, sebab keselamatan merupakan prioritas utama dalam dunia penerbangan. Hal tersebut sesuai dengan Pasal 3 Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2009 tujuan terselenggaranya penerbangan adalah untuk mewujudkan penyelenggaraan penerbangan yang selamat, aman, cepat, lancar, tertib dan teratur, nyaman dan berdaya guna, dengan biaya yang terjangkau oleh daya beli masyarakat dengan mengutamakan dan melindungi penerbangan nasional, menunjang pemerataan, pertumbuhan dan stabilitas, sebagai pendorong, penggerak, dan penunjang pembangunan nasional serta memperlancar hubungan antar bangsa (Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Kementerian RI, 2007). Untuk meningkatkan keamanan penerbangan di Indonesia, setiap pesawat udara selama beroperasi pasti memiliki kebijakan dalam perbaikan dan penggantian komponen atau mesin pesawat yang digunakan. Perbaikan dan penggantian ini harus dilakukan karena setiap komponen dalam mesin pesawat terbang mempunyai batas usia pakai tertentu.

PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) untuk selanjutnya disebut PT. GMF Aero Asia yang berlokasi di bandara Soekarno-Hatta adalah salah satu perusahaan terbesar dan terbaik di Indonesia yang bergerak di bidang *maintenance, repair, and overhaul* (MRO) pesawat terbang. Misi PT.GMF Aero Asia adalah menyediakan jasa perawatan pesawat terbang yang diintegrasikan dan terpadu sebagai solusi untuk perawatan dan perbaikan ringan dan berat (*overhaul*) demi mencapai lalu lintas udara yang lebih aman demi kualitas kehidupan umat manusia yang lebih terjamin. Salah satu hal yang dilakukan oleh PT. GMF Aero Asia adalah

dengan memberikan perawatan serta penggantian terhadap komponen pesawat terbang yang digunakan secara kontinyu.

Komponen *Air Cycle Machine* (ACM) merupakan komponen yang penting dalam pesawat terbang. Fungsi dari komponen ACM ini adalah menghasilkan udara *precooled* menengah untuk memfasilitasi ekstraksi air pada tekanan tinggi dengan menggunakan tenaga mesin yang dihasilkan oleh turbin, mengkompresi dan mengekspansi udara yang mengalir untuk memfasilitasi mesin pendingin udara / APU (*Auxillary Power Unit*), serta penukar panas udara yang mengalir di tanah dan ketika efek udara di ram tidak mencukupi. Jika terjadi penurunan kemampuan fungsi komponen ini, maka akan menyebabkan pengurangan dalam kecepatan dan karena itu akan berpengaruh pada hilangnya efisiensi. Suhu akan meningkat dan aliran udara dalam pesawat terbang akan berkurang, sehingga jika komponen ini mengalami kerusakan maka akan berakibat terganggunya mesin pesawat terbang dan mengganggu kenyamanan penumpang. Hal ini menimbulkan kerugian yang besar bagi perusahaan maskapai penerbangan maupun bagi pelanggan, oleh karena itu jika komponen ACM ini mengalami kerusakan maka perlu dilakukan perawatan dan perbaikan ringan.

Perbaikan pada komponen yang mengalami kerusakan tidak selamanya efisien. Jika komponen ACM yang rusak telah mengalami beberapa kali perbaikan, maka keandalan dari komponen ini akan semakin menurun dan laju kerusakannya akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Oleh karena itu, perbaikan yang dilakukan tidak lagi ekonomis dan perusahaan akan mengeluarkan biaya lebih besar dalam memperbaiki komponen yang mengalami kerusakan, sehingga komponen yang rusak akan dibuang dan diganti dengan yang baru / *replacement* (Ebeling, 1997).

Penelitian sebelumnya mengenai kebijakan penggantian (*replacement*) yang dilakukan oleh Krisnadi, Soemadi, Mustafa (2014) telah memberikan hasil bahwa penggantian komponen roda pada lokomotif kereta api DE CC 201 seri 99 yang optimal adalah

54 hari dan penggantian radiator optimal adalah 23 hari. Penelitian yang telah dilakukan tersebut memiliki asumsi yang sederhana yaitu mesin rusak akan beroperasi seperti baru kembali setelah dilakukan perbaikan atau dianggap sebagai *as good as new*. Perbaikan komponen yang rusak dengan konsep *as good as new* memiliki sifat eksponensial, yaitu pelupa (*memory less property*) dan laju kerusakannya konstan. Dalam praktiknya, jika komponen semakin sering digunakan, maka laju kerusakan komponen tersebut semakin meningkat seiring bertambahnya waktu serta komponen yang rusak dan telah diperbaiki akan memiliki kinerja dan keandalan yang menurun dari pada komponen yang baru. Selain itu, penelitian sebelumnya mengenai kebijakan penggantian (*replacement*) yang dilakukan oleh Leung & Fong (2000) menggunakan pendekatan *geometric processes* untuk menyelesaikan masalah perawatan dan penggantian gearbox pada bus dan mendapatkan waktu penggantian optimal dengan meminimalkan biaya rata-rata jangka panjang per hari yang ditentukan untuk setiap jenis gearbox.

Pada penelitian ini akan dilakukan penentuan optimasi waktu penggantian komponen ACM pesawat terbang di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia. Penentuan waktu penggantian komponen di GMF AeroAsia saat ini menggunakan bantuan *software* ReliaSoft dan menggunakan asumsi jika komponen telah diperbaiki maka akan beroperasi seperti komponen baru (*as good as new*). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Geometric Process* yang menyatakan bahwa setelah komponen diperbaiki maka dianggap memiliki kinerja dan keandalan yang menurun secara linier (Leung & Fong, 2000). Kebijakan waktu penggantian (*replacement*) komponen ACM yang optimal ditentukan berdasarkan biaya minimum. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru dalam penentuan waktu optimal kebijakan penggantian komponen ACM di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia menggunakan pendekatan model yang lebih sesuai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa waktu penggantian komponen ACM pesawat terbang di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia selama ini menggunakan bantuan *software* ReliaSoft dan menggunakan asumsi jika komponen telah diperbaiki maka akan beroperasi seperti komponen baru (*as good as new*). Dalam praktiknya, jika komponen semakin sering digunakan, maka laju kerusakan komponen tersebut semakin meningkat seiring bertambahnya waktu serta komponen yang rusak dan telah diperbaiki akan memiliki kinerja dan keandalan yang menurun dari pada komponen yang baru. Permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini yaitu bagaimana waktu penggantian optimal komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pada PT.GMF AeroAsia dengan menggunakan metode *Geometric Process* untuk meminimumkan biaya.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan yang ingin diperoleh yaitu mendapatkan waktu penggantian (*replacement*) komponen ACM pesawat terbang CRJ-1000 yang optimal di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia dengan pendekatan *Geometric Process*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu diharapkan mampu memberikan informasi mengenai kebijakan waktu perencanaan penggantian komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang yang optimal dengan pengeluaran biaya yang minimum di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Komponen ACM dalam kondisi baru saat pertama kali digunakan.
2. Setiap komponen ACM yang rusak, maka akan diperbaiki.
3. Komponen ACM diganti dengan yang baru dan yang identik ketika tidak lagi ekonomis untuk memperbaikinya.
4. Umur komponen (*life time*) dan waktu perbaikan (*repair time*) dari komponen ACM independen.
5. Rasio penurunan keandalan komponen (r) konstan
6. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data umur komponen ACM pesawat terbang selama periode Mei 2014 sampai dengan Agustus 2015.
7. Komponen ACM pesawat terbang yang digunakan yaitu komponen ACM pada pesawat terbang CRJ-1000.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Geometric Process (GP)*

Dalam masalah pemeliharaan, banyak mesin yang mengalami penurunan kinerja karena pengaruh penuaan dan keausan. Dalam praktiknya, setelah dilakukan perbaikan pada mesin, maka mesin akan mengalami kinerja yang tidak seperti mesin baru. Berdasarkan fenomena ini, Lam (1998) dalam Leung & Fong (2000) pertama kali mengusulkan sebuah pendekatan *Geometric Process (GP)* untuk memodelkan fenomena tersebut. Dalam model tersebut, Lam meneliti dua macam kebijakan penggantian, dimana yang pertama didasarkan pada usia kerja mesin (T) dan yang lainnya didasarkan pada jumlah kerusakan sebanyak N kali. Kebijakan optimal N atau T diperoleh dengan meminimalkan rata-rata biaya jangka panjang (Wang & Zhang, 2014).

Pendekatan *Geometric Process (GP)* dianggap lebih realistis, relevan, dan langsung memodelkan karakteristik sistem suatu mesin dan dapat memodelkan operasi mesin secara berturut-turut (Leung & Fong, 2000). Menurut Lam (1998), terdapat dua definisi *Geometric Process (GP)* yang diberikan sebagai berikut.

Definisi 1. Diberikan variabel random G_1, G_2, \dots untuk $r > 0$, $\{r^{n-1}G_n, n = 1, 2, \dots\}$ membentuk suatu *Renewal Process (RP)* maka $\{G_n, n = 1, 2, \dots\}$ merupakan suatu *Geometric Process (GP)*, r disebut sebagai rasio atau parameter dari *Geometric Process (GP)*.

Definisi 2. Jika $r > 1$, maka *Geometric Process (GP)* tersebut merupakan suatu *Geometric Process (GP)* yang menurun. Jika $0 < r < 1$, maka *Geometric Process (GP)* tersebut merupakan suatu *Geometric Process (GP)* yang meningkat. Jika $r = 1$, maka *Geometric Process (GP)* merupakan suatu *Renewal Process (RP)*.
dengan:

X_n : umur komponen setelah ke $(n - 1)$ perbaikan dengan $X_0 = 0$

Y_n : waktu perbaikan setelah n kerusakan untuk $1, 2, 3, \dots, N$

G_n : *Geometric Process* (X_n maupun Y_n) untuk $n = 1, 2, \dots, N$

Komponen yang mengalami penurunan keandalan dapat diasumsikan bahwa umur komponen membentuk *Geometric Process* (GP) yang menurun, sedangkan waktu perbaikan akan membentuk *Geometric Process* (GP) yang meningkat. Waktu penggantian komponen pada umumnya bersifat stokastik, sehingga tidak mempertimbangkan usia komponen.

2.2 Uji Trend Laplace

Uji trend Laplace digunakan untuk memeriksa keberadaan trend pada data. Perumusan hipotesis yang digunakan sebagai berikut:

H_0 : Data tidak memiliki trend.

H_1 : Data memiliki trend.

Statistik Uji Laplace diberikan sebagai berikut:

$$L = \frac{\frac{\sum_{n=1}^{N-1} T_n}{N-1} - \frac{T_N}{2}}{T_N \sqrt{\frac{1}{12(N-1)}}} \quad (2.1)$$

dengan :

$$T_n = \sum_{i=1}^n G_i$$

L merupakan pendekatan distribusi normal standart untuk $N \geq 4$ pada 5 persen level signifikan. Jika $|L| > 1.96$, maka H_0 ditolak yang berarti bahwa data set $\{G_1, G_2, \dots, G_N\}$ menunjukkan adanya trend.

2.3 Estimasi Parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk estimasi parameter, salah satunya adalah regresi linier sederhana. Persamaan regresi linier sederhana yang dapat digunakan adalah sebagai berikut.

$$\ln G_n = -\ln r (n-1) + \alpha + e_n \text{ untuk } n = 1, 2, \dots, N \quad (2.2)$$

Dimana e_n adalah bentuk error yang menjelaskan pengaruh (*effect*) variabel dependen $\ln G_n$ dan e_n adalah variabel random dengan mean 0 dan variansi σ_e^2 untuk semua $n = 1, 2, \dots, N$.

Menurut Lam (1992) dalam Leung & Fong (2000), estimasi parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 dapat dilakukan dengan menggunakan teknik regresi linier sederhana. Estimasi titik menggunakan metode *least square* (kuadrat terkecil) $\ln r$, α , dan σ_e^2 dihitung menggunakan formula:

$$\ln \hat{r} = \frac{6}{(N-1)N(N+1)} \left[(N-1) \sum_{n=1}^N G_n - 2 \sum_{n=1}^N (n-1) \ln G_n \right] \quad (2.3)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum_{n=1}^N \ln G_n}{N} + \left(\frac{N-1}{2} \right) \ln \hat{r} \quad (2.4)$$

Dan

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{N-2} \left\{ \sum_{n=1}^N (\ln G_n)^2 - \frac{\left(\sum_{n=1}^N \ln G_n \right)^2}{N} \right\} - \quad (2.5)$$

$$\frac{1}{N-2} \left\{ \ln \hat{r} \left[\left(\frac{N-1}{2} \right) \sum_{n=1}^N \ln G_n + \sum_{n=1}^N (n-1) \ln G_n \right] \right\}$$

2.4 Uji Geometric Process (GP)

Untuk menguji apakah data berasal dari *Geometric Process* (GP), Lam (1992) dalam Leung & Fong (2000) menyusun hipotesis sebagai berikut.

$H_0: r = 1$ (rasio keandalan sama dengan 1 atau merupakan *renewal process*)

$H_1: r \neq 1$ (rasio keandalan tidak sama dengan 1 atau merupakan *geometric process*)

Statistik Uji-T diberikan sebagai berikut:

$$t = \frac{-\ln \hat{r} \sqrt{(N-1)N(N+1)}}{\sqrt{12} \hat{\sigma}_e} \quad (2.6)$$

t berdistribusi *student - t* dengan derajat bebas $(N - 2)$.

Jika $|t| >$ nilai kritis $t_{N-2;0.025}$, maka H_0 ditolak pada 5 persen level signifikan yang berarti data set $\{G_1, G_2, \dots, G_N\}$ berasal dari *Geometric Process* (GP).

2.5 Estimasi Mean dan Variansi dari G_n

Pertama, estimasi mean dan variansi dari G_1 dilakukan dengan menggunakan estimator yang relevan. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut Lam (1992) dalam Leung & Fong (2000).

- a. Jika rasio $r > 1$, estimasi mean dan variansi dari G_1 sebagai berikut.

$$\hat{\mu}_{G_1} = \frac{(1 - \hat{r}^{-1}) \sum_{n=1}^N G_n}{1 - \hat{r}^{-N}} \quad (2.7)$$

Dan

$$\hat{\sigma}_{G_1}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (\hat{r}^{n-1} G_n)^2 - \frac{\left(\sum_{n=1}^N \hat{r}^{n-1} G_n \right)^2}{N}}{N-1} \quad (2.8)$$

- b. Jika $0 < r < 1$, μ_{G_1} diestimasi menggunakan persamaan berikut ini.

$$2\mu_{G_1}^2 \ln \mu_{G_1} - 2\hat{\alpha}\mu_{G_1}^2 - \sigma_{G_1}^2 = 0 \quad (2.9)$$

Dimana $\hat{\alpha}$ dan $\hat{\sigma}_{G_1}^2$ masing-masing ditentukan oleh persamaan (2.4) dan (2.8).

- c. Jika $r = 1$, estimasi μ_{G_1} dan $\hat{\sigma}_{G_1}^2$ masing-masing ditentukan sebagai berikut.

$$\hat{\mu}_{G_1} = \frac{\sum_{n=1}^N G_n}{N} \quad \text{dan} \quad \hat{\sigma}_{G_1}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (G_n - \hat{\mu}_{G_1})^2}{N-1} \quad (2.10)$$

Kedua, estimasi mean dan varians dari G_n untuk $n = 2, 3, \dots, N$ dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\hat{\mu}_{G_n} = \frac{\hat{\mu}_{G_1}}{\hat{r}^{n-1}} \quad \text{dan} \quad \hat{\sigma}_{G_n}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{G_1}^2}{\hat{r}^{2(n-1)}} \quad (2.11)$$

2.6 Kebijakan Penggantian Optimal

Diberikan Z_n merupakan waktu antara penggantian ke $(n - 1)$ dan penggantian ke- n dengan $Z_0 = 0$, maka $\{Z_n, n = 1, 2, \dots\}$ membentuk *renewal process*. Menerapkan hasil yang telah diketahui dari teori *renewal* (Ross, 1970) sebagai berikut.

$$l(N) = \frac{\text{Total pendapatan yang diharapkan terjadi dalam siklus} - \text{Total biaya yang diharapkan}}{\text{panjang siklus yang diharapkan}} \\ = \frac{\text{Biaya yang diharapkan terjadi dalam siklus}}{\text{panjang siklus yang diharapkan}}$$

Rata-rata biaya jangka panjang per hari (Lam, 1988) diberikan sebagai berikut.

$$l(N) = \frac{c_f \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + c_R - w \mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}}}{\mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + d_R} \quad (2.12)$$

untuk $N = 1, 2, \dots$

dengan:

c_f : biaya rata-rata penggantian

- c_R : biaya rata-rata perbaikan
 a : parameter *Geometric Process* umur komponen
 b : parameter *Geometric Process* lama waktu perbaikan
 μ_{X_1} : rata-rata umur komponen setelah kerusakan pertama
 μ_{Y_1} : rata-rata lama waktu perbaikan setelah kerusakan pertama
 $l(N)$: biaya rata-rata jangka panjang per hari, fungsi dari jumlah kerusakan N
 N : Jumlah kerusakan

Waktu penggantian untuk komponen rusak yang dapat diperbaiki biasanya bersifat stokastik, sehingga tidak mempertimbangkan berapa umur komponen yang digunakan, maka akan membentuk *renewal process*. Untuk mempermudah perhitungan, waktu penggantian diasumsikan diabaikan. Oleh karena itu, $w = 1$ dan $d_R = 0$ sehingga persamaan (2.12) yaitu rata-rata biaya jangka panjang per hari (Lam, 1988) menjadi:

$$l_1(N) = \frac{c_f \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} - \mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + c_R}{\mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}}} \quad (2.13)$$

untuk $N = 1, 2, \dots$

Kebijakan penggantian optimal ditentukan dengan meminimalkan $l_1(N)$ terhadap N . Berikut ini adalah langkah-langkah dalam menentukan kebijakan waktu penggantian yang optimal.

1. Menghitung rata-rata biaya jangka panjang per hari $l_1(N)$ untuk untuk $N = 1, 2, 3, \dots$ menggunakan persamaan (2.13).
2. Plot rata-rata biaya jangka panjang per hari $l_1(N)$ terhadap N , kemudian dapat diperoleh waktu penggantian optimal yang ditunjukkan oleh titik minimum pada kurva atau secara matematis, untuk menentukan waktu optimal maka dilakukan penurunan pertama terhadap fungsi $l_1(N)$ sebagai berikut.

$$l_1'(N) = 0 \quad (2.14)$$

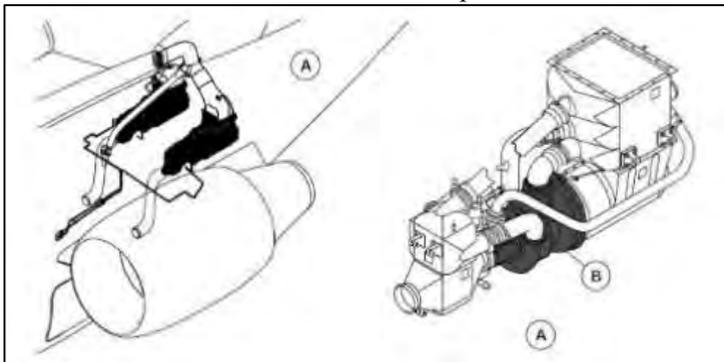
Kemudian, untuk melihat apakah waktu penggantian menghasilkan biaya yang paling minimum, maka dilakukan penurunan kedua terhadap fungsi $l_1(N)$ sebagai berikut.

$$l_1''(N) > 0 \quad (2.15)$$

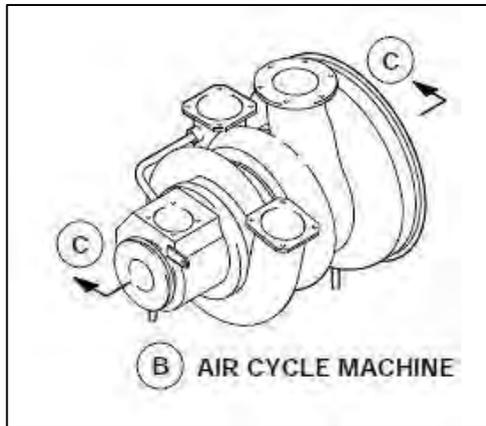
2.7 Air Cycle Machine (ACM)

Air Cycle Machine (ACM) merupakan komponen yang penting bagi pesawat terbang. ACM dipasang antara komponen *plenum* dan kondensor. ACM memiliki tiga fungsi sebagai berikut:

1. Mengkompresi dan mengekspansi udara yang mengalir untuk memfasilitasi mesin pendingin udara / APU (*Auxillary Power Unit*)
2. Menghasilkan kompresi udara *precooled* menengah untuk memfasilitasi ekstraksi air pada tekanan tinggi, dengan menggunakan tenaga mesin yang dihasilkan oleh turbin
3. Penukar panas udara yang mengalir di tanah dan ketika efek udara di ram tidak mencukupi.



(a)



(b)

Gambar 2.1 Komponen *Air Cycle Machine* (ACM) (a) Letak Komponen ACM di Badan Pesawat (b) Letak Komponen ACM dengan Komponen Lain yang Terdekat

ACM termasuk juga roda kompresor dan perakitan poros berputar merupakan komponen yang diproduksi sebagai satu unit dari *stainless steel*. Dorongan bantalan dan roda turbin, terbuat dari paduan cahaya material, terlindungi di salah satu ujung poros rotor oleh baut tunggal. Kipas roda dan *stainless steel* terletak di balik ujung baut tunggal.

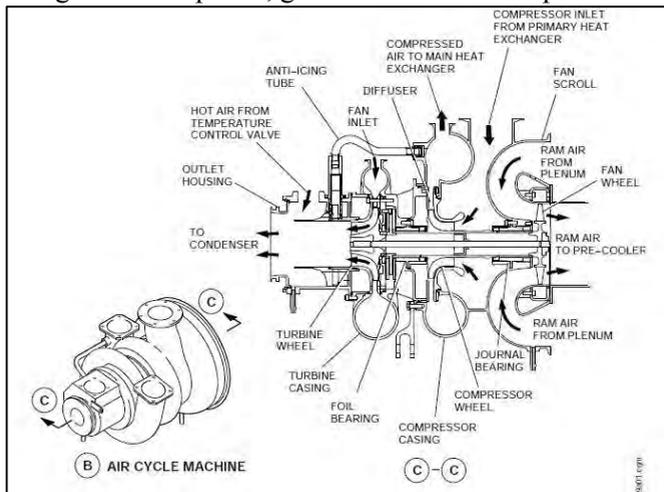
Poros didukung oleh radial dua bantalan dan beban aksial ditanggung oleh dua dorong bantalan yang terletak di daerah pendingin ACM. Sebuah sirkuit ventilasi disertakan di dalam mesin untuk *heat sink* dari bantalan. Sebuah *anti-ice circuit* menambahkan udara panas sekitar muff turbin untuk melindunginya terhadap es dan membangun dalam operasi suhu rendah.

Dalam operasi, udara dari *primary heat exchanger* dikompresi dan dipanaskan dalam kompresor sentrifugal. Setelah dipress melalui bagian diffuser, yang meminimalkan energi kinetic kerugian, udara dialirkan ke *main heat exchanger*. Udara panas didinginkan di *dual heat exchanger* sebelum melewati air lingkaran ekstraksi dan ke turbin. Energi udara yang masuk turbin

ACM digunakan drive kompresor dan kipas ACM. Ekstraksi dari energi secara signifikan dapat menurunkan suhu udara. Udara mengalir melalui *nozzle* stasioner dialirkan ke pisau turbin rotor dan menyebabkan memutar. Perluasan udara melalui roda turbin menyebabkan suhu turun terus menerus.

Operasi bootstrap dari ACM mencapai keadaan seimbang antara kekuatan rotasi yang dihasilkan oleh turbin dan gaya yang dibutuhkan untuk mendorong kompresor dan kipas. Akibatnya, kecepatan ACM secara langsung berhubungan dengan volume dan tekanan dari udara di katup kontrol aliran.

Sebagai unit bantalan udara, tidak ada pelumasan yang digunakan untuk kompresor / turbin / poros kompresor. Sebagai gantinya, ketika komponen dioperasikan, bantalan udara yang dihasilkan digunakan untuk mendukung poros. Ketika komponen ini sedang tidak beroperasi, gesekan rotasi kecil diperbolehkan.



Gambar 2.2 Komponen Lain yang Berkaitan dengan ACM

Kerusakan ACM menyebabkan pengurangan dalam kecepatan dan karena itu akan berpengaruh pada hilangnya efisiensi. Suhu akan meningkat dan aliran udara dalam pesawat terbang akan berkurang.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini merupakan data umur komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 dalam periode waktu Mei 2014 sampai dengan Agustus 2015 yang diperoleh dari bagian *Engineering Reliability* (TER-1) PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) Aero Asia Cengkareng. Jumlah data yang tersedia sebanyak 23 umur komponen. Pengambilan data ini dilakukan oleh divisi *Aircraft Maintenance Planning*. Data yang digunakan ini berisi tentang umur komponen (*life time*) dan lama waktu perbaikan. Terdapat 13 tipe pesawat terbang CRJ-1000 yaitu GRA, GRC, GRE, GRF, GRG, GRH, GRI, GRJ, GRK, GRL, GRM, GRN, GRO.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah umur komponen (*life time*) dengan satuan jam terbang (*flight hours*) dan waktu perbaikan komponen (*repair time*) dalam satuan hari. Data umur komponen (*life time*) dihitung dari selisih komponen baru digunakan sampai dengan komponen mengalami *removal* atau kerusakan (satuan *flight hours*) di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) Aero Asia Cengkareng. Jika komponen ACM pesawat CRJ-1000 mengalami kerusakan, maka perbaikan komponen ini dilakukan di Kota Toulouse, Perancis.

Di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) Aero Asia Cengkareng tidak terdapat pencatatan data lama waktu perbaikan setiap komponen ACM (*repair time*) yang mengalami kerusakan, tetapi hanya terdapat informasi mengenai estimasi lama waktu perbaikan, yaitu 30 hari. Lama waktu perbaikan 30 hari ini termasuk *shipping* (pengiriman) komponen ACM ke Toulouse, Perancis dan proses administrasi. Pihak PT. GMF AeroAsia memperkirakan waktu *shipping* (pengiriman) dan proses administrasi yaitu selama 20 hari, sehingga perkiraan rata-rata

lama waktu perbaikan komponen ACM-nya selama 10 hari. Selama ini, dalam analisis di PT. GMF AeroAsia menggunakan Distribusi Weibull. Karena informasi data lama waktu perbaikan komponen ACM dari PT.GMF AeroAsia terbatas, maka lama waktu perbaikan komponen ACM pada penelitian ini menggunakan *random data* Distribusi Weibull dengan parameter *Shape* (β) = 5 dan parameter *Scale* (η) = 10. Data lama waktu perbaikan komponen ACM yang diperoleh terlampir pada Lampiran A. Berikut ini adalah organisasi data yang digunakan.

Tabel 3.1 Struktur Data

Tipe Pesawat CRJ-1000	Umur Komponen (Jam)	Lama Waktu Perbaikan (Hari)
GRA	X_1	Y_1
	X_2	Y_2
	\vdots	\vdots
	X_n	Y_n
GRC	X_1	Y_1
	X_2	Y_2
	\vdots	\vdots
	X_n	Y_n
\vdots	\vdots	\vdots
GRO	X_1	Y_1
	X_2	Y_2
	\vdots	\vdots
	X_n	Y_n

3.3 Langkah Analisis Penelitian

Langkah analisis yang dilakukan dalam penelitian optimasi kebijakan waktu penggantian komponen *Air Cycle Machine* (ACM) dengan menggunakan metode *Geometric Process* studi kasus pada PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia adalah sebagai berikut.

1. Data umur komponen yang digunakan merupakan data umur komponen *Air Cycle Machine* (ACM) dari 13 tipe pesawat terbang CRJ-1000. Ketiga belas tipe pesawat terbang tersebut memiliki spesifikasi kinerja komponen ACM yang sama,

sehingga dalam analisis yang dilakukan, umur komponen ACM dari ketigabelas tipe pesawat CRJ-1000 tersebut dapat digabungkan menjadi satu dataset berdasarkan tanggal kerusakan.

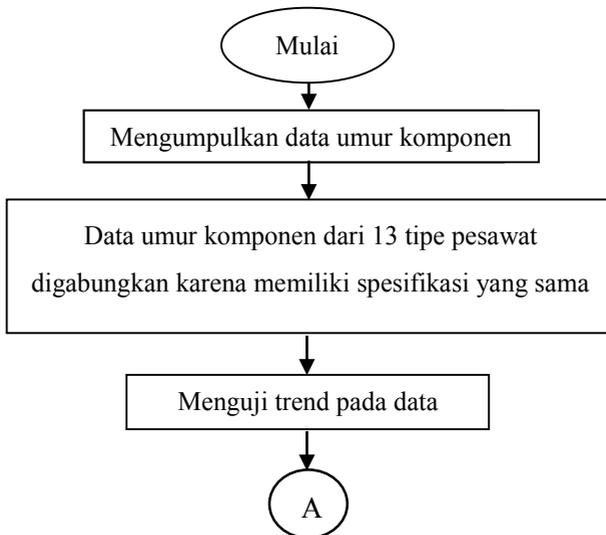
2. Kemudian menguji apakah terdapat trend pada data umur komponen dan lama waktu perbaikan ACM dengan menggunakan statistik uji Laplace pada Persamaan (2.1)
3. Berdasarkan poin 2, jika terdapat trend dalam data maka diduga data berasal dari suatu *Geometric Process* sehingga perlu dilakukan estimasi parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 dengan menggunakan Persamaan (2.3), (2.4), dan (2.5). $\ln r$ dapat berupa $\ln a$ atau $\ln b$ dengan $\ln a$ merupakan estimasi parameter untuk data umur komponen, sedangkan $\ln b$ merupakan estimasi parameter untuk data lama waktu perbaikan.
4. Estimasi parameter pada poin 3 digunakan untuk menguji dugaan apakah data umur komponen dan lama waktu perbaikan berasal dari *Geometric Process* (GP) dengan menggunakan statistik uji pada Persamaan (2.6).
5. Berdasarkan poin 4, jika data berasal dari *Geometric Process*, maka perlu dilakukan estimasi mean dan varians dari G_n dengan menggunakan Persamaan (2.7) sampai dengan (2.11)
6. Mendapatkan optimasi penggantian komponen ACM pesawat terbang di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) Aero Asia Cengkareng.
 - a. Menghitung rata-rata biaya jangka panjang per hari dengan Persamaan (2.13) dengan mencobakan jumlah kerusakan (N). Jika jumlah kerusakannya adalah 1, maka nilai $\sum_{n=1}^N \frac{1}{b^{n-1}} = 1$, sehingga Persamaan (2.13) menjadi :

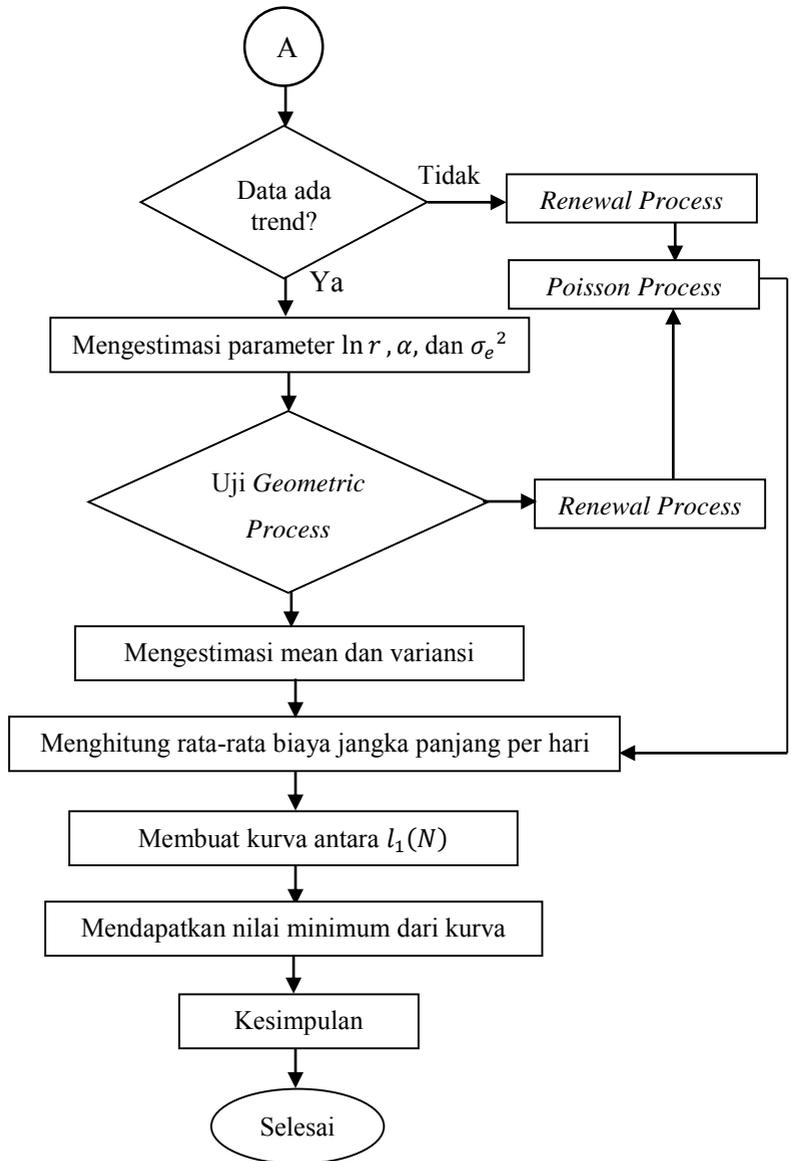
$$l_1(N) = \frac{c_f \mu_{Y_1} - \mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + c_R}{\mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}}}$$

- b. Membuat kurva antara rata-rata biaya jangka panjang per hari $l_1(N)$ terhadap N .
7. Mendapatkan nilai minimum dari kurva pada poin (6.b) yang merupakan nilai optimum biaya penggantian (*replacement*) komponen ACM pesawat terbang yang ditunjukkan oleh titik minimum pada kurva.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Tahapan dalam penelitian berdasarkan langkah analisis penelitian akan digambarkan melalui diagram alir penelitian yang disajikan pada Gambar 3.1 berikut.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian Trend Laplace dilakukan untuk mengetahui apakah data umur komponen dan lama waktu perbaikan ACM membentuk suatu trend. Selanjutnya dilakukan estimasi parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 untuk menguji hipotesis data berasal dari *Geometric Process* dan melakukan estimasi mean dan variansi dari G_n . Pada bab ini juga akan dibahas optimasi penggantian komponen ACM pesawat terbang di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) Aero Asia Cengkareng dengan *trial error*, yaitu membuat kurva antara rata-rata biaya jangka panjang per hari $l_1(N)$ terhadap N .

4.1 Pengujian Trend Data Umur Komponen ACM dan Lama Waktu Perbaikan

Data umur komponen yang digunakan merupakan data umur komponen *Air Cycle Machine* (ACM) dari 13 tipe pesawat terbang CRJ-1000. Ketiga belas tipe pesawat terbang tersebut memiliki spesifikasi kinerja komponen ACM yang sama, yaitu mengkompresi dan mengekspansi udara yang mengalir untuk memfasilitasi mesin pendingin udara, menghasilkan kompresi udara *precooled* menengah, serta menukar panas udara yang mengalir di tanah saat efek udara di ram tidak mencukupi. Dengan demikian umur komponen ACM dari ketigabelas tipe pesawat CRJ-1000 tersebut dapat digabungkan menjadi satu dataset dengan mengurutkannya berdasarkan tanggal terjadinya kerusakan komponen ACM dari awal sampai dengan terakhir seperti yang terdapat pada Lampiran B, sehingga terdapat total kerusakan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 sejumlah 23 kerusakan.

Langkah selanjutnya yang harus dilakukan sebelum analisis lebih lanjut adalah menguji apakah terdapat trend pada data umur komponen dan lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000. Hal ini dilakukan

sebagai pendugaan awal data berasal dari *Geometric Process*. Hasil dari pengujian trend dengan menggunakan statistik uji Laplace pada Persamaan (2.1) untuk data pada Lampiran B, yaitu umur komponen dan lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 dan *output* yang diperoleh pada Lampiran D diringkas dalam Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Statistik Uji Laplace Umur Komponen dan Lama Waktu Perbaikan ACM

Data	Statistik	
	L	$Z_{0,025}$
Umur Komponen	11,1948	1,96
Lama Waktu Perbaikan	3,87738	

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa nilai statistik uji Laplace data umur komponen dan lama waktu perbaikan yang dihasilkan masing-masing sebesar 11,1948 dan 3,87738. Dengan menggunakan toleransi kesalahan 0,05, diperoleh nilai titik kritis $Z_{0,025}$ yaitu sebesar 1,96. Nilai statistik uji Laplace untuk kedua data ini lebih besar dari pada nilai titik kritis ($|L| > 1,96$), sehingga H_0 ditolak pada 5 persen level signifikan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa terdapat adanya trend pada dataset umur komponen dan lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000. Terdapatnya trend pada kedua dataset ini berarti diduga bahwa umur komponen dan lama waktu perbaikan ACM mengikuti *Geometric Process*, yaitu jika komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 ini semakin sering rusak dan kemudian akan semakin sering pula diperbaiki, maka keandalan atau kinerja berfungsi baik dari komponen ACM ini akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu, sedangkan tingkat laju kerusakannya akan semakin meningkat. Untuk membuktikan dugaan tersebut, perlu dilakukan pengujian lebih lanjut.

4.2 Estimasi Parameter $\ln r, \alpha$, dan σ_e^2 untuk Umur Komponen ACM dan Lama Waktu Perbaikan

Data umur komponen dan lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 menunjukkan adanya trend, sehingga diduga data mengikuti *Geometric Process*. Sebelum menguji apakah data mengikuti *Geometric Process* atau tidak, perlu dilakukan perhitungan estimasi parameter $\ln r, \alpha$, dan σ_e^2 untuk umur komponen dan lama waktu perbaikan komponen ACM terlebih dahulu. $\ln r$ menunjukkan estimasi parameter untuk umur komponen maupun lama waktu perbaikan, dengan $\ln a$ menunjukkan parameter untuk umur komponen, sedangkan $\ln b$ menunjukkan parameter untuk lama waktu perbaikan. Estimasi titik yang dilakukan menggunakan metode *least square* (kuadrat terkecil). Hasil estimasi parameter $\ln r, \alpha$, dan σ_e^2 berdasarkan Persamaan (2.3), (2.4), dan (2.5) untuk data pada Lampiran B, yaitu umur komponen dan lama waktu perbaikan komponen ACM dan *output* yang diperoleh pada Lampiran H dan Lampiran L diringkas dalam Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Estimasi Parameter Umur Komponen ACM dan Lama Waktu Perbaikan

Umur Komponen		Lama Waktu Perbaikan	
Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
$\ln(\hat{a})$	0,34808	$\ln(\hat{b})$	0,92521
\hat{a}	1,41635	\hat{b}	2,52239
$\hat{\alpha}$	2,64592	$\hat{\alpha}$	6,43860
$\hat{\sigma}_e^2$	1,31132	$\hat{\sigma}_e^2$	0,78115

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa nilai estimasi parameter \hat{a} lebih besar dari 1. Hal ini mengindikasikan bahwa seiring dengan pemakaian komponen *Air Cycle Machine* (ACM), maka umur komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 akan semakin pendek dan terus memendek hingga akhirnya komponen ACM ini akan mengalami kerusakan. Estimasi parameter variansi $\hat{\sigma}_e^2$ untuk umur komponen tergolong kecil, yaitu sebesar 1,31132. Hal ini menunjukkan bahwa estimasi

parameter yang dihasilkan model regresi untuk umur komponen sudah cukup baik untuk menangkap fenomena keberadaan trend.

Estimasi parameter \hat{b} untuk lama waktu perbaikan menghasilkan nilai lebih besar dari 1. Hal ini berarti bahwa lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 akan semakin berkurang dan akan cenderung menuju ke 0. Estimasi parameter variansi $\hat{\sigma}_e^2$ untuk lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) cukup kecil, yaitu 0,78115. Hal ini menunjukkan bahwa estimasi parameter yang diperoleh dari model regresi untuk lama waktu perbaikan sudah cukup baik untuk menangkap fenomena keberadaan trend.

4.3 Pengujian *Geometric Process* (GP) Umur Komponen ACM dan Lama Waktu Perbaikan

Setelah estimasi parameter $\ln r, \alpha$, dan σ_e^2 untuk umur komponen dan lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) telah diketahui, maka pengujian *Geometric Process* dapat dilakukan. Uji *Geometric Process* ini dilakukan untuk mengetahui apakah data umur komponen maupun lama waktu perbaikan komponen ACM berasal dari *Geometric Process* atau tidak. Hasil dari pengujian *Geometric Process* berdasarkan Persamaan (2.6) untuk data pada lampiran B, yaitu umur komponen dan lama waktu perbaikan *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 dan *output* yang diperoleh pada Lampiran F dan Lampiran J diringkas dalam Tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Statistik Uji *t* Umur Komponen dan Lama Waktu Perbaikan Komponen ACM

Data	Nilai Statistik Uji t	Titik Kritis $t_{21;0.025}$
Umur Komponen	-9,66985	2,07961
Lama Waktu Perbaikan	-33,3015	

Tabel 4.3 memberikan informasi bahwa baik data umur komponen maupun lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle*

Machine (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 menghasilkan nilai $|t| >$ nilai kritis $t_{21;0,025}$, sehingga H_0 ditolak pada 5 persen level signifikan yang berarti bahwa baik data umur komponen maupun lama waktu perbaikan berasal dari *Geometric Process*. Hal ini menunjukkan bahwa jika komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 ini semakin sering rusak dan kemudian selalu diperbaiki, maka kinerja komponen akan berfungsi baik atau kenadalan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 ini akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Tingkat laju kerusakan komponen ACM pun akan semakin meningkat.

4.4 Estimasi Mean dan Variansi Umur Komponen ACM dan Lama Waktu Perbaikan

Pada sub bab sebelumnya telah diketahui bahwa data umur komponen dan lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 telah berasal dari *Geometric Process*, sehingga perlu dilakukan estimasi mean dan variansi dari kedua data tersebut.

4.4.1 Estimasi Mean dan Variansi Umur Komponen ACM

Hasil estimasi mean dan variansi untuk data pada Lampiran B, yaitu umur komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 dengan menggunakan Persamaan (2.7) dan *output* yang diperoleh pada Lampiran H diringkas dalam Tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Estimasi Mean dan Variansi Umur Komponen ACM

Estimasi Parameter	Nilai
$\hat{\mu}_{X_1}$ (jam)	21498,4
$\hat{\mu}_{X_1}$ (tahun)	2,45415
$\hat{\mu}_{X_n}$ (tahun)	$2,45415/1,41635^{n-1}$

Berdasarkan Tabel 4.4 diperoleh informasi bahwa rata-rata lama umur komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 dapat berfungsi dengan baik saat pertama kali digunakan atau

saat komponen belum pernah mengalami kerusakan adalah 21499 jam.

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 tidak dapat beroperasi kembali setelah mengalami 31 kali kerusakan. Oleh karena itu, setelah terjadi 31 kerusakan, maka komponen harus mengalami penggantian dengan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) yang baru. Penggantian komponen ACM dengan yang baru setelah mengalami kerusakan ini akan membutuhkan biaya yang besar, sebab komponen diganti dalam keadaan rusak, sehingga tidak menutup kemungkinan bahwa dengan adanya kerusakan pada komponen ini mengakibatkan beberapa komponen lain yang memiliki mendukung kerja komponen ini juga mengalami kerusakan.

Tabel 4.5 Estimasi Rata-rata Umur Komponen ACM Berfungsi Baik

n	$\hat{\mu}_{x_n}$ (jam)	n	$\hat{\mu}_{x_n}$ (jam)
1	21498	17	82
2	15179	18	58
3	10717	19	41
4	7566	20	29
5	5342	21	20
6	3772	22	14
7	2663	23	10
8	1880	24	7
9	1328	25	5
10	937	26	4
11	662	27	3
12	467	28	2
13	330	29	1
14	233	30	1
15	164	31	1
16	116	32	0

Prediksi rata-rata umur komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 dapat berfungsi baik secara menyeluruh adalah sebagai berikut.

$$\sum_{n=1}^{31} \hat{\mu}_{x_n} = 73132 \text{ jam}$$

Rata-rata umur komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 akan dapat berfungsi baik selama 73132 jam terbang.

4.4.2 Estimasi Mean dan Variansi Lama Waktu Perbaikan Komponen ACM

Hasil estimasi mean dan variansi untuk data pada Lampiran B, yaitu lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 dengan menggunakan Persamaan (2.7) dan *output* yang diperoleh pada Lampiran L diringkas dalam Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.6 Estimasi Mean dan Variansi Lama Waktu Perbaikan Komponen ACM

Estimasi Parameter	Nilai
$\hat{\mu}_{y_1}$ (hari)	125
$\hat{\mu}_{y_1}$ (tahun)	0,342288
$\hat{\mu}_{y_n}$ (tahun)	$0,342288/2,52239^{n-1}$

Tabel 4.6 memberikan informasi bahwa rata-rata lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 setelah terjadi kerusakan pertama kali adalah 125 hari. Berikut ini adalah estimasi rata-rata lama waktu penggantian komponen ACM setelah mengalami beberapa kali kerusakan.

Tabel 4.7 Estimasi Rata-rata Lama Waktu Perbaikan Komponen ACM

n	$\hat{\mu}_{y_n}$ (hari)
1	125
2	50
3	20
4	8
5	3
6	1
7	0

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat diketahui bahwa rata-rata lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 adalah 0 setelah 6 kali terjadi kerusakan. Hal ini menunjukkan bahwa perusahaan tidak akan melakukan perbaikan pada komponen ACM ini setelah terjadi kerusakan yang ke-6 kali. Prediksi rata-rata lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 secara menyeluruh sampai perbaikan ke-6 adalah sebagai berikut.

$$\sum_{n=1}^6 \hat{\mu}_{Y_n} = 207 \text{ hari}$$

Rata-rata lama waktu perbaikan (*repair time*) komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 secara menyeluruh sampai perbaikan ke-6, yaitu selama 207 hari.

4.5 Penentuan Kebijakan Waktu Penggantian Komponen *Air Cycle Machine* (ACM)

Perencanaan kegiatan *maintenance* suatu komponen memerlukan perhitungan waktu yang tepat. Salah satu kegiatan *maintenance* di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia adalah melakukan penggantian komponen. Hal ini perlu dilakukan, sebab jika komponen yang beroperasi pada pesawat terbang hanya dilakukan perawatan secara berkala saja, maka tidak menutup kemungkinan bahwa komponen pesawat terbang tersebut akan mengalami kerusakan saat pesawat terbang sedang beroperasi. Selain itu, biaya kerugian yang diakibatkan adanya kerusakan komponen tersebut akan semakin besar. Oleh karena itu, dalam pembahasan ini akan dibahas mengenai penentuan kebijakan penggantian komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000.

PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia memiliki standar perhitungan biaya dalam melakukan kegiatan perbaikan serta penggantian komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000. Standar biaya perbaikan (*Cost of Repair*) komponen ACM yang diberlakukan di PT. GMF AeroAsia adalah

US\$ 12418 dalam satu kali perbaikan. Biaya komponen ACM jika terjadi kerusakan (*Cost of Replacement*) sebesar US\$ 65740. Selanjutnya nilai *Cost of Repair* dan *Cost of Replacement* disubstitusikan kedalam Persamaan $l_1(N)$ (2.13) yang merupakan fungsi rata-rata biaya penggantian jangka panjang, sebagai berikut.

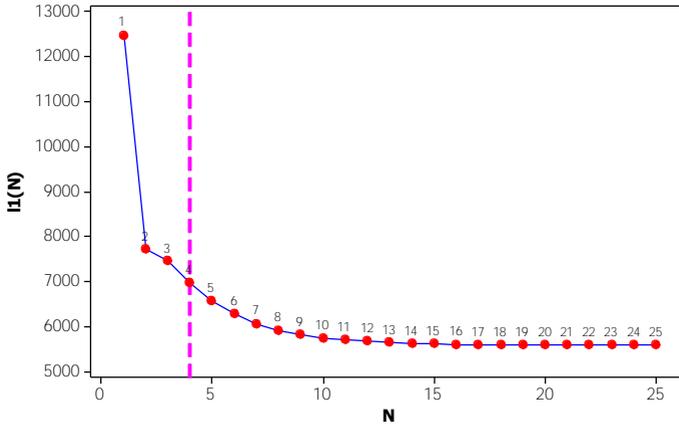
$$l_1(N) = \frac{65740 \mu_{y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} - \mu_{x_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + 12418}{\mu_{x_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}}}$$

Nilai $l_1(N)$ ini didapatkan dengan cara *trial-error* nilai N , yaitu pada saat kerusakan ke berapa sampai dengan diperoleh nilai $l_1(N)$ yang paling minimum. Hasil rata-rata biaya penggantian jangka panjang per hari yang diperoleh dengan mencobakan nilai kerusakan ke- N dari 1 sampai dengan 25 pada Persamaan (2.13) dan *output* yang diperoleh pada Lampiran N diringkaskan dalam Tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.8 Rata-rata Biaya Penggantian Komponen ACM Jangka Panjang per Hari

Kerusakan ke-N	$l_1(N)$	Kerusakan ke-N	$l_1(N)$
1	12487	14	5615
2	7710	15	5603
3	7446	16	5595
4	6961	17	5589
5	6559	18	5585
6	6264	19	5582
7	6056	20	5580
8	5910	21	5578
9	5809	22	5577
10	5739	23	5576
11	5690	24	5576
12	5656	25	5575
13	5632		

Plot antara $l_1(N)$ dengan N ditunjukkan oleh Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Plot Jumlah Kerusakan (N) dengan Rata-rata Biaya Penggantian Komponen ACM Jangka Panjang per Hari.

Gambar 4.1 memberikan informasi bahwa estimasi rata-rata biaya penggantian komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 jangka panjang per hari akan semakin menurun seiring dengan jumlah kerusakan yang telah dialami komponen ACM. Tetapi, jika komponen ACM telah mengalami beberapa kali kerusakan, maka umur komponen ACM pun (*flight hours*) akan semakin menurun, sehingga semakin sering diperbaiki. Semakin seringnya komponen ACM diperbaiki, maka hal ini tidak efektif lagi karena hari perbaikannya semakin bertambah, sehingga mengganggu kenyamanan penumpang sebab udara di kabin bertambah panas.

Penurunan umur komponen setelah beberapa kali diperbaiki ini dapat diketahui pada Tabel 4.5 mengenai estimasi rata-rata umur komponen ACM berfungsi baik. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi seringnya melakukan perbaikan terhadap komponen ACM dan menyebabkan pengeluaran biaya yang

semakin besar akibat biaya perbaikan dan biaya pengiriman (*shipping*), maka sebagai tindakan *preventive*, komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pada pesawat CRJ-1000 akan diganti setelah terjadi kerusakan yang ke-4. Estimasi rata-rata biaya penggantian jangka panjang komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pada pesawat CRJ-1000 per-hari pada kerusakan ke-4, yaitu sebesar US\$ 6961. Pada kerusakan ke-4 ini biaya pernggantian lebih murah dari pada 6 kali biaya perbaikan yang dilakukan, dan umur komponen (*life time*) dari komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pada pesawat CRJ-1000 ini lebih lama jika mengalami penggantian dari pada akumulasi estimasi umur komponen (*life time*) setelah mengalami 6 kali biaya perbaikan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, kesimpulan bahwa komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 akan diganti setelah terjadi kerusakan yang ke-4 dengan estimasi rata-rata biaya penggantian jangka panjang komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pada pesawat CRJ-1000 per-hari pada kerusakan ke-4, yaitu sebesar US\$ 6961. Pada kerusakan ke-4 ini biaya penggantian lebih murah dari pada 6 kali biaya perbaikan yang dilakukan, dan umur komponen (*life time*) dari komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pada pesawat CRJ-1000 ini lebih lama jika mengalami penggantian dari pada akumulasi estimasi umur komponen (*life time*) setelah mengalami 6 kali biaya perbaikan.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya dan untuk kebijakan penggantian komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini hanya terbatas pada rasio penurunan keandalan komponen (r) nya konstan. Sebaiknya untuk mendapatkan waktu penggantian komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 yang tepat, maka penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode yang mempertimbangkan bahwa kinerja komponen yang telah diperbaiki akan memiliki keandalan yang semakin menurun dengan tingkat penurunan keandalan yang tidak sama dari perbaikan yang pertama dan seterusnya.
2. Sebaiknya pencatatan data terkait umur komponen dan lama waktu perbaikan komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia dapat dilakukan secara kontinyu agar

perhitungan penggantian komponen yang dilakukan lebih tepat dan sesuai.

LAMPIRAN A

Data Umur Komponen dan Lama Waktu Perbaikan Komponen *Air Cycle Machine* (ACM) Pesawat Terbang CRJ-1000

No	Tipe Pesawat Terbang CRJ-1000	Umur Komponen(jam)	Lama Waktu Perbaikan (hari)
1	GRA	3553	5
		1874	10
2	GRC	1522	7
		1532	9
3	GRE	4206	12
4	GRF	4257	10
		5042	6
		4072	5
5	GRG	1686	7
		3697	9
		4749	11
6	GRH	3888	10
7	GRI	4065	10
8	GRJ	4646	6
9	GRK	2167	10
10	GRL	2404	12
		107	6
		4397	8
11	GRM	3316	12
		4167	10
12	GRN	2439	11
		2631	9
13	GRO	2692	12

LAMPIRAN B

**Data Umur Komponen dan Lama Waktu Perbaikan
Komponen *Air Cycle Machine* (ACM) Pesawat Terbang CRJ-
1000 setelah diurutkan berdasarkan Tanggal Kerusakan**

No	Tanggal Kerusakan	Umur Komponen (jam)	Umur Komponen (tahun)	Lama Waktu Perbaikan (hari)	Lama Waktu Perbaikan (tahun)
1	12/21/2013	1522	0.17374	5	0.01370
2	12/22/2013	1686	0.19247	10	0.02740
3	12/23/2013	1532	0.17489	7	0.01918
4	5/8/2014	2167	0.24737	9	0.02466
5	5/21/2014	3553	0.40559	12	0.03288
6	6/24/2014	2404	0.27443	10	0.02740
7	8/25/2014	3697	0.42203	6	0.01644
8	9/24/2014	4206	0.48014	5	0.01370
9	9/24/2014	2439	0.27842	7	0.01918
10	10/21/2014	2631	0.30034	9	0.02466
11	11/4/2014	107	0.01221	11	0.03014
12	11/11/2014	3888	0.44384	10	0.02740
13	11/28/2014	4257	0.48596	10	0.02740
14	12/17/2014	3316	0.37854	6	0.01644
15	12/29/2014	4749	0.54212	10	0.02740
16	3/12/2015	4065	0.46404	12	0.03288
17	4/3/2015	1874	0.21393	6	0.01644
18	5/12/2015	5042	0.57557	8	0.02192
19	5/28/2015	4646	0.53037	12	0.03288
20	6/23/2015	4072	0.46484	10	0.02740
21	7/6/2015	4167	0.47568	11	0.03014
22	7/23/2015	4397	0.50194	9	0.02466
23	8/14/2015	2692	0.30731	12	0.03288

LAMPIRAN C

Syntax Uji Trend Laplace Umur Komponen dan Lama Waktu Perbaikan (MATLAB)

```

%-----
%- 2. Uji Trend
%-----
%- 2.a. Membaca Data
[Data2]=xlsread('D:\Data22.xls');
X=Data2(:,1);    % Jika ingin menggunakan data Umur
Komponen
Y=Data2(:,22);   % Jika ingin menggunakan data Waktu
Perbaikan
N=length(X);

fprintf('----- \n')
fprintf(' Analisis untuk Data Umur Komponen \n')
fprintf('----- \n')
%- 2.b Mencari L untuk Umur Komponen -----
-----
sigmaXn=0;
for i=1:(N-1)
    sigmaXn=sigmaXn+X(i);
end;
L=((sigmaXn./(N-1))-X(N)/2)./(X(N)*sqrt(1./(12*(N-1))));
if abs(L)>1.96
    Kesimpulan='Tolak H0';
else
    Kesimpulan='Gagal Tolak H0';
end;
fprintf('----- \n')
fprintf(' Uji Laplace \n')
fprintf('----- \n')
fprintf('L = % g\n', L)
Kesimpulan

```

```
%- 2.b L untuk Lama Waktu Perbaikan -----  
-----  
sigmaYn=0;  
for i=1:(N-1)  
    sigmaYn=sigmaYn+Y(i);  
end;  
L=((sigmaYn./(N-1))-  
Y(N)./2)./(Y(N)*sqrt(1./(12*(N-1))));  
if abs(L)>1.96  
    Kesimpulan='Tolak H0';  
else  
    Kesimpulan='Gagal Tolak H0';  
end;  
fprintf('----- \n')  
fprintf(' Uji Laplace \n')  
fprintf('----- \n')  
fprintf('L = % g\n', L)  
Kesimpulan
```

LAMPIRAN D***Output Uji Trend Laplace Umur Komponen dan Lama Waktu Perbaikan (MATLAB)***

```
-----  
Analisis untuk Data Umur Komponen  
-----  
-----  
Uji Laplace  
-----  
L = 11.1948  
  
Kesimpulan =  
  
Tolak H0  
  
-----  
Analisis untuk Data Lama Waktu Perbaikan  
-----  
-----  
Uji Laplace  
-----  
L = 3.87738  
  
Kesimpulan =  
  
Tolak H0
```

LAMPIRAN E**Syntax Uji Geometric Process Data Umur Komponen (MATLAB)**

```

%-----
%- 3. Uji Geometric Process
%-----
sigmaXn=0; sigmalnXn=0; sigmanmin1lnXn=0; sigmalnXn2=0;
for i=1:N
    sigmaXn=sigmaXn+X(i);
    sigmalnXn=sigmalnXn+log(X(i));
    sigmanmin1lnXn=sigmanmin1lnXn+(i-1)*log(X(i));
    sigmalnXn2=sigmalnXn2+(log(X(i))).^2;
end;
lnrtopi=(6./((N-1)*N*(N+1)))*((N-1)*sigmaXn-
2*sigmanmin1lnXn);
alfatopi=sigmalnXn./N+(N-1)*lnrtopi/2;
vare=(1./(N-2))*(sigmalnXn2-((sigmalnXn).^2)./N-lnrtopi*((N-
1)*sigmalnXn./2-sigmanmin1lnXn));
thit=-lnrtopi*sqrt((N-1)*N*(N+1))./sqrt(12*vare);
ttab=tinv(1-0.025,(N-2));
if abs(thit)>ttab
    Kesimpulan='Tolak H0';
else
    Kesimpulan='Gagal Tolak H0';
end;
fprintf('----- \n')
fprintf(' Uji Geometric Process \n')
fprintf('----- \n')
fprintf('t hitung = % g\n', thit)
fprintf('t tabel = % g\n', ttab)
Kesimpulan

```

LAMPIRAN F***Output Uji Geometric Process Data Umur Komponen (MATLAB)***

```
-----  
Analisis untuk Data Umur Komponen  
-----  
-----  
Uji Geometric Process  
-----  
t hitung = -9.66985  
t tabel = 2.07961  
  
Kesimpulan =  
  
Tolak H0
```

LAMPIRAN G**Syntax Estimasi Mean dan Varians Data Umur Komponen (MATLAB)**

```

%-----
%- 4. Estimasi Mean & Varians
%-----
rtopi=exp(lnrtopi); a=rtopi;
if rtopi==1
    muX(1)=sigmaXn./N;
    sigmaXnminmuX1=0;
    for i=1:N
        sigmaXnminmuX1=sigmaXnminmuX1+(X(i)-muX1).^2;
    end;
    varX(1)=sigmaXnminmuX1./(N-1);
else
    muX(1)=(1-(rtopi.^(-1)))*sigmaXn./(1-(rtopi.^(-N)));
    rXn=0; rXn2=0;
    for i=1:N
        rXn=rXn+X(i)*rtopi.^(i-1);
        rXn2=rXn2+(X(i)*rtopi.^(i-1)).^2;
    end;
    varX(1)=(rXn2-(rXn.^2)./N)./(N-1);
end;

nstopX=1;
while muX(nstopX)>0.0001
    nstopX=nstopX+1;
    muX(nstopX)=muX(1)./rtopi.^(nstopX-1);
end;

for i=2:N
    varX(i)=varX(1)./rtopi.^(2*(i-1));
end;

```

```

fprintf('----- \n')
fprintf(' Estimasi Mean & Varians \n')
fprintf('----- \n')
fprintf('ln(r topi) = % g\n', lnrtopi)
fprintf('r topi   = % g\n', rtopi)
fprintf('Alfa topi  = % g\n', alfatopi)
fprintf('Varian e   = % g\n', vare)
fprintf('Mu X1     = % g\n', muX(1))
%fprintf('Mu Xn   = % g\n', sum(muX));
%fprintf('n iterasi = % g\n', nstopX);
fprintf('Var X1    = % g\n', varX(1))
%fprintf(' \n')
%fprintf(' \n')

```

LAMPIRAN H

Output Estimasi Mean dan Varians Data Umur Komponen (MATLAB)

```

-----
Analisis untuk Data Umur Komponen
-----

-----
Estimasi Mean & Varians
-----

ln(r topi) = 0.348084
r topi    = 1.41635
Alfa topi = 2.64592
Varian e  = 1.31132
Mu X1     = 2.45415
Var X1    = 49595.1

```

LAMPIRAN I**Syntax Uji Geometric Process Data Lama Waktu Perbaikan (MATLAB)**

```

%-----
%- 3. Uji Geometric Process
%-----
sigmaYn=0; sigmalnYn=0; sigmanmin1lnYn=0; sigmalnYn2=0;
for i=1:N
    sigmaYn=sigmaYn+Y(i);
    sigmalnYn=sigmalnYn+log(Y(i));
    sigmanmin1lnYn=sigmanmin1lnYn+(i-1)*log(Y(i));
    sigmalnYn2=sigmalnYn2+(log(Y(i))).^2;
end;
lnrtopi=(6./((N-1)*N*(N+1)))*((N-1)*sigmaYn-
2*sigmanmin1lnYn);
alfatopi=sigmalnYn./N+(N-1)*lnrtopi/2;
vare=(1./(N-2))*(sigmalnYn2-((sigmalnYn).^2)./N-lnrtopi*((N-
1)*sigmalnYn./2-sigmanmin1lnYn));
thit=-lnrtopi*sqrt((N-1)*N*(N+1))./sqrt(12*vare);
ttab=tinv(1-0.025,(N-2));
if abs(thit)>ttab
    Kesimpulan='Tolak H0';
else
    Kesimpulan='Gagal Tolak H0';
end;
fprintf('----- \n')
fprintf(' Uji Geometric Process \n')
fprintf('----- \n')
fprintf('t hitung = % g\n', thit)
fprintf('t tabel = % g\n', ttab)
Kesimpulan

```

LAMPIRAN J***Output Uji Geometric Process Data Lama Waktu Perbaikan
Komponen (MATLAB)***

Analisis untuk Data Lama Waktu Perbaikan

Uji Geometric Process

t hitung = -33.3015

t tabel = 2.07961

Kesimpulan =

Tolak H0

LAMPIRAN K**Syntax Estimasi Mean dan Varians Data Lama Waktu Perbaikan (MATLAB)**

```

%-----
%- 4. Estimasi Mean & Varians
%-----
rtopi=exp(lnrtopi); b=rtopi;
if rtopi==1
    muY(1)=sigmaYn./N;
    sigmaYnminmuY1=0;
    for i=1:N
        sigmaYnminmuY1=sigmaYnminmuY1+(Y(i)-muY1).^2;
    end;
    varY(1)=sigmaYnminmuY1./(N-1);
else
    muY(1)=(1-(rtopi.^(-1)))*sigmaYn./(1-(rtopi.^(-N)));
    rYn=0; rYn2=0;
    for i=1:N
        rYn=rYn+Y(i)*rtopi.^(i-1);
        rYn2=rYn2+(Y(i)*rtopi.^(i-1)).^2;
    end;
    varY(1)=(rYn2-(rYn.^2)./N)./(N-1);
end;

nstopY=1;
while muY(nstopY)>0.0001
    nstopY=nstopY+1;
    muY(nstopY)=muY(1)./rtopi.^(nstopY-1);
end;

for i=2:N
    varY(i)=varY(1)./rtopi.^(2*(i-1));
end;
fprintf('----- \n')

```

```

fprintf(' Estimasi Mean & Varians \n')
fprintf('----- \n')
fprintf('ln(r topi) = % g\n', lnrtopi)
fprintf('r topi    = % g\n', rtopi)
fprintf('Alfa topi  = % g\n', alfatopi)
fprintf('Varian e   = % g\n', vare)
fprintf('Mu Y1     = % g\n', muY(1))
%fprintf('Mu Yn    = % g\n', sum(muY));
%fprintf('n iterasi = % g\n', nstopY);
fprintf('Var Y1    = % g\n', varY(1))
%fprintf(' \n')
%fprintf(' \n')

```

LAMPIRAN L

***Output* Estimasi Mean dan Varians Data Lama Waktu Perbaikan Komponen (MATLAB)**

```

-----
Analisis untuk Data Lama Waktu Perbaikan
-----

-----
Estimasi Mean & Varians
-----

ln(r topi) = 0.925208
r topi    = 2.52239
Alfa topi = 6.4386
Varian e  = 0.781146
Mu Y1     = 0.342288
Var Y1    = 2.37583e+013

```

LAMPIRAN M**Syntax Optimasi Waktu Penggantian Komponen ACM (MATLAB)**

```

%-----
%- 5. Menentukan Optimasi Biaya
%-----
fprintf('----- \n')
fprintf(' Optimasi Biaya \n')
fprintf('----- \n')
cf=input('cf = ');
cR=input('cR = ');
muX1=muX(1); muY1=muY(1);

N=25;
for j=1:N
    sigma1perb=0; sigma1pera=0;
    if j==1
        sigma1perb=1;
        sigma1pera=1;
    else
        for i=1:(j-1)
            sigma1perb=sigma1perb+1./(b.^(i-1));
        end;
        for i=1:j
            sigma1pera=sigma1pera+1./(a.^(i-1));
        end;
    end;
    I1(j)=(cf*muY1*sigma1perb-muX1*sigma1pera
+cR)./(muX1*sigma1pera+muY1*sigma1perb);
end;

stasioner=2;
while abs(I1(stasioner)-I1(stasioner-1))>1
    stasioner=stasioner+1;

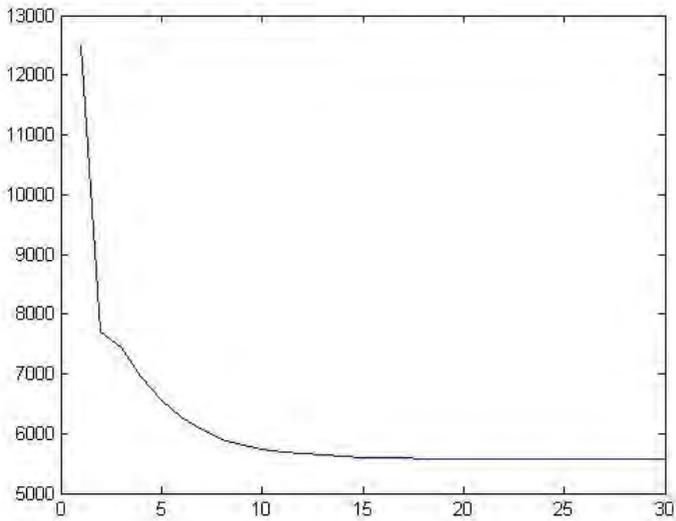
```

```
end;  
%fprintf('Titik stasioner = % g\n', stasioner)  
%fprintf('Biaya optimum = % g\n', I1(stasioner))  
  
X=(1:N);  
plot(X,I1,'Color','blue')
```

LAMPIRAN N

***Output* Optimasi Waktu Penggantian Komponen ACM (MATLAB)**

```
-----  
Optimasi Biaya  
-----  
cf = 12418  
cR = 65740
```

LAMPIRAN O**Plot Jumlah Kerusakan (N) Terhadap Rata-rata Biaya Jangka Panjang Penggantian Komponen ACM (MATLAB)**

LAMPIRAN P

Surat Keterangan Penelitian di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia, Cengkareng.

SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMIPA-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Puspita Permatasari

NRP : 1312100070

Telah mengambil data di instansi / perusahaan kami :

Nama Instansi : Garuda Maintenance Facility Aero Asia

Divisi/Bagian : Reliability Engineering Services (TER-1)

Sejak tanggal 5 Oktober 2015 sampai dengan 28 Desember 2015 untuk keperluan Tugas Akhir/Thesis Semester Gasal/Genap* 2015/2016 .

2. Tidak Keberatan/Keberatan* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/Thesis mahasiswa Statistika yang akan disimpan di perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.
3. Tidak Keberatan/Keberatan* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E-journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS

Cengkareng, 19 Desember 2015

Pimpinan Perusahaan


 GMF AeroAsia
 GARUDA MAINTENANCE FACILITY
 Knowledge Management

(DIMAS M. SUHARA)
 NIP 580985

*(coret yang tidak perlu)

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Kementerian Republik Indonesia. 2007. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 Tentang penerbangan*. Diakses pada 19 September 2015, dari <URL:<http://hubud.dephub.go.id/?id/uu/download/5>>.
- Ebeling, C.E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Book.
- Krisnadi, J.W, Soemadi, K., Mustofa, F.H. 2014. Optimasi Waktu Penggantian Komponen pada Lokomotif DE CC 201 Seri 99 Menggunakan Metoda *Age Replacement* di PT. Kereta Api Indonesia. *Teknik Industri Itenas* No. 04 Vol. 01.
- Leung, F.K.N, dan Fong, C.Y. 2000. A Repair-Replacement Study for Gearboxes Using Geometric Processes. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol 17 Iss 3 pp 285-304.
- Ross, SM. 1970. *Applied Probability Models with Optimization Applications*. San Francisco : Holden-Day.
- Wang, G.J, dan Zhang, Y.L. 2014. Geometric Process Model For A System With Inspections and Preventive Repair. *Computers & Industrial Engineering* 75 (2014) 13-19.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Puspita Permatasari yang akrab disapa dengan Puspita, merupakan anak dari pasangan Muchtarom dan Siti Muyasaroh. Penulis merupakan anak bungsu dari 2 bersaudara yang dilahirkan di kota Blitar pada tanggal 13 April 1995. Penulis memulai jenjang pendidikan yang pertama di Taman Kanak-kanak Al-Hidayah Siraman (1999-2000), kemudian melanjutkan di SDN 1 Siraman (2000-2006). Setelah menamatkan pendidikan sekolah dasar penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Kesamben (2006-2009) dan di SMAN 1 Talun (2009-2012). Pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri ITS dan diterima sebagai mahasiswi Jurusan Statistika dengan NRP 1311100070. Selama kuliah, penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi dan pernah menjadi staff Kementerian Hubungan Luar BEM-ITS (Badan Eksekutif Mahasiswa) pada tahun 2013/2014, pada tahun 2013/2014 penulis juga menjabat sebagai Bendahara II BEM F-MIPA (Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam). Selain itu penulis juga aktif dalam kepanitiaan seperti panitia YES SUMMIT (*Young Engineer and Scientist Summit*) pada tahun 2013 dan 2014, panitia PIFOT (*Public Figure on Talk*) pada tahun 2013 dan 2014, PERTAMINA Goes To Campus tahun 2013, dan PRS (Pekan Raya Statistika). Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia, Cengkareng.

Penulis menerima segala kritikan, masukan, dan saran yang bersifat membangun demi meningkatkan manfaat Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis siap membantu terkait dengan metode dan

ilmu statistik, jika dibutuhkan pembaca dapat menghubungi penulis melalui email : puspitapermata3@gmail.com.