

**ANALISIS KEGAGALAN DAN PREDIKSI UMUR PAKAI
FLOW CONTROL VALVE AIRBUS A320 MENGGUNAKAN
DISTRIBUSI WEIBULL**

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat lulus pendidikan

Program Studi Diploma IV Teknik Pesawat Udara Angkatan Ke-17

Oleh:

PUTU DIAH AYU YOGANTARI SUKABUMI

NIT. 16022230012



**PROGRAM STUDI TEKNIK PESAWAT UDARA
POLITEKNIK PENERBANGAN INDONESIA CURUG**

Agustus 2026

ABSTRAK

ANALISIS KEGAGALAN DAN PREDIKSI UMUR PAKAI *FLOW CONTROL VALVE* AIRBUS A320 MENGGUNAKAN DISTRIBUSI WEIBULL

Oleh

PUTU DIAH AYU YOGANTARI SUKABUMI

NIT. 16022230012

Program Studi Diploma IV Teknik Pesawat Udara

PACK Flow Control Valve (FCV) merupakan komponen penting pada sistem *Air Conditioning PACK* pesawat Airbus A320 yang berfungsi mengatur aliran *bleed air* bertekanan dan bertemperatur tinggi sebelum udara diproses dan didistribusikan ke kabin. Keandalan komponen ini berpengaruh terhadap kemampuan sistem air conditioning dan pressurization dalam menjaga temperatur, tekanan, serta sirkulasi udara kabin selama penerbangan. Kegagalan *FCV* dapat menimbulkan *PACK regulation fault*, menurunkan redundansi sistem, dan menyebabkan pelepasan komponen di luar jadwal perawatan atau *unscheduled removal*. Penelitian ini bertujuan menentukan karakteristik kegagalan, *Mean Time to Failure (MTTF)*, tingkat keandalan, *Cumulative Distribution Function (CDF)*, *failure rate*, prediksi umur pakai, serta usulan interval *preventive maintenance* pada *PACK Flow Control Valve P/N 1806D0000-01* yang digunakan pada pesawat Airbus A320. Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan Distribusi Weibull dua parameter, yaitu *shape parameter* (β) dan *scale parameter* (η). Data yang digunakan berupa 41 kejadian *unscheduled removal* dan *Time to Failure (TTF)* periode 2020–2025 yang diperoleh dari PT. GMF AeroAsia. Nilai TTF menggunakan *Time Since Installation* karena menunjukkan lama operasi komponen sejak dipasang hingga mengalami kegagalan dan dilepas secara tidak terjadwal. Data TTF berada pada rentang 928 FH hingga 29.774 FH, dengan rata-rata sebesar 15.608,63 FH. Pengolahan data dilakukan melalui pengurutan TTF, penentuan *adjusted rank*, perhitungan *Benard's Median Rank*, transformasi variabel X dan Y, serta regresi linier untuk memperoleh parameter Weibull. Hasil analisis menunjukkan *shape parameter* sebesar 2,015375676 dan *scale parameter* sebesar 18.009,99 *flight hours (FH)*. Nilai β lebih besar dari satu menunjukkan bahwa komponen memiliki pola kegagalan *wear-out*, sehingga laju kegagalan meningkat seiring bertambahnya waktu operasi. Secara teknis, kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh siklus pembukaan dan penutupan katup, paparan perubahan tekanan dan temperatur udara pneumatik, keausan bagian bergerak, penurunan kemampuan seal, peningkatan gesekan, kebocoran internal, dan perlambatan

respons katup. Nilai *MTTF* diperoleh sebesar 15.958,83 *FH*. Pada umur tersebut, *reliability* komponen sebesar 45,67%, sedangkan *CDF* sebesar 54,33%. Hasil ini menunjukkan bahwa pada saat mencapai *MTTF*, sekitar 54,33% populasi komponen diperkirakan telah mengalami kegagalan dan sekitar 45,67% masih mampu beroperasi. *Failure rate* pada saat *MTTF* sebesar 0,00009897 kegagalan per *FH* atau sekitar 0,0099% per *FH*. Analisis *B-Life* menghasilkan nilai B10 sebesar 5.896,31 *FH*, B20 sebesar 8.556,39 *FH*, dan B30 sebesar 10.798,36 *FH*. Nilai B30 menunjukkan bahwa 30% populasi komponen diperkirakan telah gagal, sedangkan 70% lainnya masih beroperasi. Oleh karena itu, pemeriksaan fungsional atau operasional diusulkan pada kisaran 10.800 *FH*, disertai monitoring awal pada 5.800–6.000 *FH*. Evaluasi penggantian terencana dapat dipertimbangkan sebelum 15.500 *FH* apabila ditemukan repetitive fault, degradasi, atau kondisi abnormal. Penerapan perawatan berbasis keandalan ini diharapkan mengurangi *unscheduled removal*, meningkatkan *dispatch reliability*, dan mendukung keandalan sistem *Air Conditioning PACK Airbus A320*. Hasil penelitian juga menegaskan bahwa *MTTF* tidak tepat digunakan secara langsung sebagai batas penggantian karena pada titik tersebut tingkat keandalan telah menurun cukup besar. Pendekatan B30 dinilai lebih konservatif untuk menentukan waktu pemeriksaan awal sebelum risiko kegagalan kumulatif melampaui 30%. Meskipun demikian, penerapan interval yang diusulkan tetap harus melalui evaluasi *engineering*, mempertimbangkan kondisi aktual komponen, riwayat kerusakan armada, ketentuan *Aircraft Maintenance Manual*, *Minimum Equipment List*, program perawatan yang disetujui, dan prosedur operator secara menyeluruh.

Kata Kunci: Airbus A320, *B-Life*, *Flow Control Valve*, Distribusi Weibull, Keandalan, Laju Kegagalan, *MTTF*, *Preventive Maintenance*

ABSTRACT

FAILURE ANALYSIS AND SERVICE LIFE PREDICTION OF THE AIRBUS A320 FLOW CONTROL VALVE USING THE WEIBULL DISTRIBUTION

By

PUTU DIAH AYU YOGANTARI SUKABUMI

NIT. 16022230012

Aircraft Engineering Study Program, Diploma IV

PACK Flow Control Valve (FCV) is an important component of the Air Conditioning PACK system on the Airbus A320 aircraft. It functions to regulate the flow of high-pressure and high-temperature bleed air before the air is processed and distributed to the cabin. The reliability of this component affects the ability of the air conditioning and pressurization systems to maintain cabin temperature, pressure, and air circulation during flight. Failure of the FCV may cause a PACK regulation fault, reduce system redundancy, and result in component removal outside the scheduled maintenance program or unscheduled removal. This study aims to determine the failure characteristics, Mean Time to Failure (MTTF), reliability level, Cumulative Distribution Function (CDF), failure rate, service-life prediction, and proposed preventive maintenance intervals for the PACK Flow Control Valve P/N 1806D0000-01 used on Airbus A320 aircraft. This study applies a quantitative descriptive method using a two-parameter Weibull Distribution approach, consisting of the shape parameter (β) and scale parameter (η). The data consist of 41 unscheduled removal events and Time to Failure (TTF) records from 2020–2025 obtained from PT GMF AeroAsia. The TTF values are based on Time Since Installation because they represent the operating time of the component from installation until failure and unscheduled removal. The TTF data range from 928 FH to 29,774 FH, with an average of 15,608.63 FH. Data processing was carried out by sorting the TTF values, determining the adjusted rank, calculating Benard's Median Rank, transforming the X and Y variables, and performing linear regression to obtain the Weibull parameters. The analysis resulted in a shape parameter of 2.015375676 and a scale parameter of 18,009.99 flight hours (FH). A β value greater than one indicates that the component exhibits a wear-out failure pattern, in which the failure rate increases with operating time. Technically, this condition may be influenced by repeated valve opening and closing cycles, exposure to changes in pneumatic air pressure and temperature, wear of moving parts, deterioration of seal performance, increased friction, internal leakage, and slower valve response. The MTTF was calculated at 15,958.83 FH. At this operating time, the component reliability is 45.67%, while the CDF is 54.33%. This indicates that

at the MTTF point, approximately 54.33% of the component population is estimated to have failed, while approximately 45.67% remains operational. The failure rate at the MTTF is 0.00009897 failures per FH, or approximately 0.0099% per FH. The B-Life analysis resulted in B10 of 5,896.31 FH, B20 of 8,556.39 FH, and B30 of 10,798.36 FH. The B30 value indicates that 30% of the component population is estimated to have failed, while the remaining 70% is still operating. Therefore, a functional or operational inspection is proposed at approximately 10,800 FH, accompanied by initial monitoring at 5,800–6,000 FH. Planned replacement evaluation may be considered before 15,500 FH if repetitive faults, degradation, or abnormal conditions are identified. The implementation of reliability-based maintenance is expected to reduce unscheduled removals, improve dispatch reliability, and support the reliability of the Airbus A320 Air Conditioning PACK system. The results also confirm that MTTF is not appropriate to be used directly as a replacement limit because the reliability level has significantly decreased at that point. The B30 approach is considered more conservative for determining an initial inspection interval before the cumulative probability of failure exceeds 30%. Nevertheless, implementation of the proposed interval should still undergo engineering evaluation by considering the actual component condition, fleet failure history, requirements of the Aircraft Maintenance Manual, Minimum Equipment List, approved maintenance program, and applicable operator procedures

Keywords: Airbus A320, B-Life, Failure rate, Flow Control Valve, Mean Time to Failure, Weibull Distribution, Preventive Maintenance, Reliability

PENGESAHAN PEMBIMBING

Tugas Akhir : "ANALISIS KEGAGALAN DAN PREDIKSI UMUR PAKAI *FLOW CONTROL VALVE* AIRBUS A320 MENGGUNAKAN DISTRIBUSI WEIBULL" telah diperiksa dan disetujui untuk diuji sebagai salah satu syarat lulus pendidikan Program Studi Diploma IV Teknik Pesawat Udara Angkatan ke-17, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug – Tangerang.



Nama : PUTU DIAH AYU YOGANTARI SUKABUMI

NIT : 16022230012

PEMBIMBING I

PEMBIMBING II

Wahyu Cakra Nugraha, S.ST., M.T., MS.ASAA

Penata (III/c)

NIP. 198904212010121005

Dody Herdianto, S. Tr. T

Penata Muda (III/a)

NIP. 200112232023101003

Mengetahui,
KETUA PROGRAM STUDI

Andri Kurniawan, S.ST., MT.

Penata Tk. I (III/d)

NIP. 198605152009121006

PENGESAHAN PENGUJI

Tugas Akhir : "ANALISIS KEGAGALAN DAN PREDIKSI UMUR PAKAI FLOW CONTROL VALVE AIRBUS A320 MENGGUNAKAN DISTRIBUSI WEIBULL" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Tugas Akhir Program Studi Diploma IV Teknik Pesawat Udara Angkatan ke- 17, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug-Tangerang. Tugas Akhir ini telah dinyatakan LULUS Program Diploma IV pada 12 Agustus 2026

KETUA



Bhima Shakti Arrafat, S.ST., MS.ASM.

Penata (III/c)

NIP. 199102222010121002

SEKRETARIS



Muhamad Faridh Al Farisy, S.Tr.T

Penata Muda (III/a)

NIP. 199911302024121001

ANGGOTA



Dody Herdianto, S. Tr. T

Penata Muda (III/a)

NIP. 200112232023101003

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putu Diah Ayu Yogantari Sukabumi

NIT : 16022230012

Program Studi : Diploma IV Teknik Pesawat Udara

Menyatakan bahwa tugas akhir berjudul "ANALISIS KEGAGALAN DAN PREDIKSI UMUR PAKAI *FLOW CONTROL VALVE* AIRBUS A320 MENGGUNAKAN DISTRIBUSI WEIBULL" merupakan karya asli saya bukan merupakan hasil plagiarisme.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar akademik dari Politeknik Penerbangan Indonesia (PPI) Curug.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Tangerang, 28 Juli 2026

Yang membuat pernyataan



Putu Diah Ayu Yogantari Sukabumi

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir Diploma IV yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Sitasi hasil penelitian Tugas Akhir ini dapat ditulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Sukabumi, Putu Diah Ayu Yogantari (2026): ANALISIS KEGAGALAN DAN PREDIKSI UMUR PAKAI FLOW CONTROL VALVE AIRBUS A320 MENGGUNAKAN DISTRIBUSI WEIBULL, Tugas Akhir Diploma IV, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tugas akhir haruslah seizin Ketua Program Studi Teknik Pesawat Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.

Dipersembahkan pada
Papa Yoga dan Mama Sutini

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan ke Hadirat Ida Sang Hyang Widhi Wasa/Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat limpahan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyusun Tugas Akhir yang berjudul "ANALISIS KEGAGALAN DAN PREDIKSI UMUR PAKAI *FLOW CONTROL VALVE* AIRBUS A320 MENGGUNAKAN DISTRIBUSI WEIBULL" ini dengan baik dan tepat pada waktu yang telah ditentukan. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Program Studi Diploma IV Teknik Pesawat Udara Angkatan ke- 17 di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.

Tugas akhir ini dibuat dari berbagai referensi yang telah penulis baca dan penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dari berbagai pihak, yaitu:

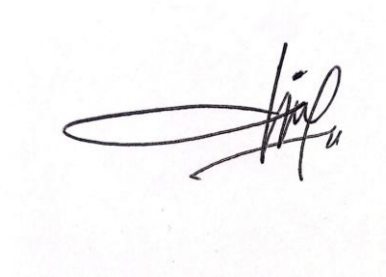
1. Bapak Capt. Megi Hudi Helmiadi, S.Si.T., M.A. selaku Direktur Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.
2. Bapak Andri Kurniawan, S.ST., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pesawat Udara yang telah memberikan arahan, dukungan, dan fasilitas selama penulis melaksanakan pendidikan.
3. Bapak Wahyu Cakra Nugraha, S.ST., M.T., MS.ASAA selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan motivasi kepada penulis selama proses penyusunan sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Bapak Dody Herdianto, S.Tr.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan saran sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
5. Seluruh dosen dan staff Program Studi Teknik Pesawat Udara Politeknik Penerbangan Indonesia Curug yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, serta dukungan selama penulis mengikuti proses pendidikan.
6. Para senior di PT. GMF AeroAsia, Mas Agus Ari Yuliawanto, Bli Puja Pradnya, dan Mas Ariski Nugroho selaku mentor yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan arahnya serta membantu menyelesaikan tugas akhir ini.

7. Kedua orang tua penulis, Papa Agus Gde Oka Wahyoga dan Mama Ni Wayan Sutini, atas segala doa, kasih sayang, pengorbanan, dan dukungan yang tidak pernah berhenti. Penulis menyadari bahwa setiap langkah yang berhasil penulis tempuh tidak pernah terlepas dari perjuangan, kesabaran, dan keikhlasan dari Papa dan Mama. Setiap dukungan merupakan landasan kekuatan penulis untuk terus melangkah. Terimakasih karena telah menjadi rumah yang nyaman untuk penulis.
8. Ketiga adikku, Lady, Sasa, dan Dekjan yang selalu mendukung penulis dalam setiap situasi, menjadi dasar motivasi penulis untuk terus berkembang agar nantinya dapat menjadi panutan bagi ketiganya. Terima kasih atas penghiburan yang dilontarkan untuk menghibur penulis selama jauh dari rumah untuk menjalani pendidikan.
9. Teman barak Tessa, Caca, dan Uswa, terima kasih telah menjadi teman barak seperjuangan penulis, support system yang membuat banyak cerita yang telah tertulis, dan berjuang bersama untuk melewati tingkat akhir ini.
10. Seluruh rekan TPU 17 yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan pendidikan penulis. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, bantuan, canda, dan semangat yang diberikan selama menghadapi berbagai proses pembelajaran hingga penyusunan Tugas Akhir. Setiap kenangan, perjuangan, dan pengalaman yang telah dilalui bersama akan selalu menjadi bagian berharga yang penulis kenang. Semoga seluruh perjuangan dan kebersamaan ini menjadi awal bagi kesuksesan kita pada masa yang akan datang. Selamat mengepakkan sayap lebih tinggi abang daffa, abang andyo, apit, abom, alghi, nanda, riyaldo, rafli, evan, ghilam, mas izza.
11. Adik – adik TPU 18, TPU 19, dan TPU 20 yang telah banyak membantu selama masa pendidikan.
12. Dan terakhir, untuk diri sendiri. Putu Diah Ayu Yogantari Sukabumi, atas komitmen dan tanggung jawab dalam menyelesaikan apa yang telah dimulai. Proses yang dijalani tidak selalu mudah, namun keteguhan, keberanian, dan keyakinan, penulis mampu bertahan. Kepercayaan bahwa setiap usaha akan menghasilkan kebaikan menjadi penguat dalam setiap

tahap yang dilalui, meskipun diwarnai dengan kelelahan dan berbagai hambatan. Pengalaman ini menjadi pembelajaran berharga bahwa proses dan pertumbuhan diri merupakan hal yang patut disyukuri dan dihargai, dan siap untuk menyambut hal – hal baru yang akan datang. *You did a great job, tari!*

Penulis pasti menyadari bahwa tugas ini masih jauh dari kata sempurna dan memiliki banyak kekurangan dalam materi. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk tugas akhir ini agar dapat menjadi lebih baik lagi di masa mendatang. Penulis mohon maaf yang sebesar – besarnya jika ada banyak kesalahan dalam penulisan tugas akhir ini, terimakasih.

Tangerang, 22 Juli 2026

A handwritten signature in dark ink, featuring a large, stylized loop followed by several smaller, connected strokes that form the author's name.

Penulis
Putu Diah Ayu Yogantari Sukabumi

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iv
PENGESAHAN PEMBIMBING.....	vi
PENGESAHAN PENGUJI.....	vii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN.....	viii
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GRAFIK.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
DAFTAR SINGKATAN	xxi
DAFTAR LAMBANG.....	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	6
G. Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Sistem <i>Air Conditioning</i> dan <i>Pressurization</i> Pesawat.....	8
1. Sistem <i>Air Conditioning</i> Airbus A320.....	9
2. Sistem <i>Pressurization Cabin</i> Airbus A320	12
B. <i>PACK Flow Control Valve</i> Airbus A320	13
C. Perawatan Pesawat Udara.....	17
D. Program Perawatan	18
E. Keandalan	19

F. Indeks Keandalan	20
G. Distribusi dan Parameter Weibull	21
H. Nilai <i>Time to Failure (TTF)</i>	26
I. Perhitungan Parameter Weibull	28
1. <i>Adjusted Rank</i>	28
2. <i>Benard's Median Rank</i>	29
3. Regresi Linier	30
4. Penentuan Parameter β dan η	31
5. Menghitung <i>Mean Time to Failure (MTTF)</i>	32
6. Menghitung <i>Reliability</i>	32
7. Menghitung <i>Failure Rate</i>	33
8. Menghitung <i>Cumulative Distribution Function</i>	33
J. Prediksi Umur Pakai Menggunakan <i>B-Life</i>	34
K. Penelitian Terdahulu	35
BAB III METODE PENELITIAN	40
A. Metode Penelitian	40
B. Teknik Pengumpulan Data	41
C. Sumber dan Jenis Data	42
D. Teknik Analisis Data	44
E. Waktu dan Tempat Penelitian	45
F. Diagram Alir	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
A. Pengolahan Data Awal dan Parameter Distribusi Weibull	49
B. Menentukan dan Menghitung Nilai Parameter Distribusi Weibull	52
1. Menentukan Nilai <i>Adjusted Rank</i>	52
2. Menentukan Nilai <i>Median Rank</i>	53
3. Menentukan nilai X dan Y	54
4. Menentukan nilai regresi linier	55
5. Menentukan nilai <i>shape parameter</i> (β) dan <i>scale parameter</i> (η)	57
C. Menghitung dan Analisis <i>Mean Time to Failure (MTTF)</i>	58
D. Analisis <i>Reliability</i> dan <i>Cumulative Distribution Function</i>	59
E. Analisis <i>Failure Rate</i>	61
F. Analisis <i>Probability Density Function</i>	63

G. Analisis <i>B-Life</i> dan Prediksi Umur Pakai	63
H. Perbandingan Hasil B30 dengan Maintenance Program Airbus A320- 200.....	65
I. Usulan Interval <i>Preventive Maintenance</i>	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
A. Kesimpulan	73
B. Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN.....	75
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Air Conditioning System A320.....	11
Gambar II. 2 Komponen PACK FCV Airbus A320	14
Gambar II. 3 Main Operating Mode FCV	16
Gambar II. 4 Bathub Curve	20
Gambar II. 5 Distribusi Weibull	22
Gambar II. 6 Fungsi Distribusi Weibull	23
Gambar II. 7 Grafik Pengaruh Scale Parameter	24
Gambar II. 8 Pengaruh Shape Parameter	25
Gambar III. 1 Diagram Alir.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel I. 1 Kegagalan Komponen Flow Control Valve	2
Tabel II. 1 Penelitian Terdahulu	36
Tabel IV. 1 Ringkasan Data Time to Failure Komponen PACK Flow Control Valve	51
Tabel IV. 2 Total Perhitungan Regresi Linier	55
Tabel IV. 3 Average X dan Y	55
Tabel IV. 4 Distribusi Parameter Weibull.....	57
Tabel IV. 5 Failure Rate pada waktu MTTF	61
Tabel IV. 6 Ringkasan nilai PDF pada beberapa Flight Hours.....	63
Tabel IV. 7 Hasil Perhitungan B-Life.....	64
Tabel IV. 8 Usulan Interval Perawatan Komponen PACK Flow Control Valve ...	69

DAFTAR GRAFIK

Grafik IV. 1 Jumlah Unscheduled Removal PACK Flow Control Valve Periode 2020 - 2025	50
Grafik IV. 2 Grafik Regresi Linier Weibull.....	56
Grafik IV. 3 Grafik Reliability dan CDF terhadap Flight Hours.....	60
Grafik IV. 4 Grafik Failure Rate terhadap Flight Hours	62
Grafik IV. 5 Perbandingan B-Life PACK FCV	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Component Report PACK Flow Control Valve	75
Lampiran B Maintenance Discrepancy and Rectification	81
Lampiran C Proses Replacement Komponen PACK Flow Control Valve.....	84
Lampiran D Komponen PACK Flow Control Valve PK-GQH.....	85
Lampiran E Perhitungan Weibull	87
Lampiran F Perhitungan Reliability, Failure Rate, dan CDF	89
Lampiran G Minimum Equipment List PACK FCV	91
Lampiran H Maintenance Planning Citilink Airbus A320	92

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Makna
A/C	<i>Aircraft</i>
ACM	<i>Air Cycle Machine</i>
ACSC	<i>Air Conditioning System Controller</i>
AMM	<i>Aircraft Maintenance Manual</i>
APU	<i>Auxiliary Power Unit</i>
ATA	<i>Air Transport Association</i>
CASR	<i>Civil Aviation Safety Regulation</i>
CDF	<i>Cumulative Distribution Function</i>
CMM	<i>Component Maintenance Manual</i>
CPC	<i>Cabin Pressure Controller</i>
DKUPPU	Direktorat Kelaikudaraan dan Pengoperasian Pesawat Udara
EASA	<i>European Union Aviation Safety Agency</i>
ECS	<i>Environmental Control System</i>
FCU	<i>Flow Control Unit</i>
FH	<i>Flight Hours</i>
IPC	<i>Illustrated Parts Catalog</i>
MEL	<i>Minimum Equipment List</i>
MRO	<i>Maintenance, Repair, and Overhaul</i>
MTTF	<i>Mean Time to Failure</i>
OJT	<i>On The Job Training</i>
PACK	<i>Pneumatic Air Conditioning Kit</i>
PDF	<i>Probability Density Function</i>
P/N	<i>Part Number</i>
SII	Standard Industri Indonesia
S/N	<i>Serial Number</i>
TSI	<i>Time since Installation</i>
TSN	<i>Time Since New</i>
TTF	<i>Time to Failure</i>

DAFTAR LAMBANG

Lambang	Keterangan
A	Konstanta atau <i>intercept</i> pada persamaan regresi linier
B	Koefisien atau <i>slope</i> pada persamaan regresi linier
B_p	Umur operasi ketika sebesar p% populasi komponen diperkirakan telah mengalami kegagalan
e	Bilangan Euler sebesar 2,718281828
F(t)	Probabilitas kumulatif kegagalan atau <i>Cumulative Distribution Function</i> pada waktu t
f(t)	Fungsi kepadatan probabilitas atau <i>Probability Density Function</i> pada waktu t
i	Urutan kegagalan atau nilai <i>adjusted rank</i>
ln	Logaritma natural dengan bilangan dasar e
n	Jumlah data kegagalan yang digunakan dalam regresi
N	Jumlah keseluruhan sampel
p	Persentase atau probabilitas kumulatif kegagalan
R(t)	Probabilitas komponen tetap berfungsi sampai waktu t
t	Waktu operasi atau <i>Time to Failure</i> komponen
X	Hasil transformasi probabilitas kumulatif kegagalan
$\bar{X}$	Nilai rata-rata variabel X
Y	Hasil transformasi logaritma natural waktu kegagalan
$\bar{Y}$	Nilai rata-rata variabel Y
β	<i>Shape parameter</i> atau parameter bentuk Distribusi Weibull
η	<i>Scale parameter</i> atau umur karakteristik komponen
γ	<i>Location parameter</i> atau nilai minimum umur kegagalan
Γ	Fungsi Gamma yang digunakan dalam perhitungan MTTF
$\lambda(t)$	Laju kegagalan komponen pada waktu t
Σ	Operator penjumlahan seluruh nilai data

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kelaikan udara (*airworthiness*) merupakan persyaratan fundamental dalam operasi penerbangan yang menjamin pesawat dapat beroperasi secara aman sesuai dengan standar regulasi yang berlaku. Dalam Undang – Undang Nomor 1 Tahun 2009 Bab VIII Pasal 34 ayat (1) menyatakan bahwa setiap pesawat udara yang dioperasikan wajib memenuhi standar kelaikudaraan (*Undang Undang Penerbangan Nomor 1 Tahun 2009*, 2009). Oleh karena itu, aspek keselamatan dan kelaikan pesawat tidak boleh diabaikan, karena kondisi laik udara berkaitan erat dengan efektivitas operasi penerbangan. Hal ini diperkuat oleh pernyataan (Aziz et al., 2021) bahwa pesawat udara harus senantiasa mendapatkan perawatan (*maintenance*) secara berkala agar tetap memenuhi standar kelaikudaraan dan dapat menjamin keselamatan penerbangan. Perawatan (*maintenance*) adalah pelaksanaan tugas yang diperlukan untuk memastikan kelayakan udara pesawat secara berkelanjutan, termasuk salah satu atau kombinasi dari perbaikan besar (*overhaul*), pemeriksaan, penggantian, perbaikan cacat, serta penerapan modifikasi atau perbaikan (Indonesia, 2006).

Pada buku (Kinnison, 2004) dengan judul “*Aviation Maintenance Management*” mengungkapkan bahwa keandalan adalah konsistensi dimana probabilitas suatu barang akan menjalani fungsi yang dibutuhkan, dalam kondisi tertentu tanpa mengalami kegagalan selama jangka waktu tertentu sesuai dengan desain yang dimaksudkan. Keandalan sistem diukur terutama melalui probabilitas tetapi juga melibatkan kinerja, waktu, dan kondisi operasional, dengan penilaian yang mencakup berbagai tingkat kegagalan fungsi hingga kegagalan total (Dwi Priyanta, 2000).

Salah satu sistem kritis dalam pesawat adalah sistem *Air Conditioning* dan *Pressurization* yang berperan dalam menjaga tekanan dan kualitas udara kabin. Pada pesawat Airbus A320, sistem ini menggunakan Komponen *Flow Control*

Valve (FCV) untuk mengatur aliran *bleed air* bertekanan tinggi. Kondisi operasi yang melibatkan tekanan dan temperatur tinggi menyebabkan komponen rentan mengalami berbagai mode kegagalan seperti *stuck*, kegagalan indikasi, maupun kegagalan parsial. Kegagalan dalam komponen tersebut dapat menyebabkan sistem *PACK* tidak beroperasi secara optimal, mengurangi redundansi sistem, serta mempengaruhi kinerja *Environmental Control System* secara keseluruhan. Hal ini diperkuat dalam ketentuan *Minimum Equipment List (MEL)* Airbus A320 oleh operator Citilink Indonesia yang terdapat pada Lampiran G, dimana komponen ini termasuk kedalam kategori C yang masih diperbolehkan untuk operasi terbatas dengan sejumlah pembatasan operasional, seperti pembatasan ketinggian, konfigurasi sistem tertentu, serta penonaktifan komponen terkait, jika selama 10 hari komponen *FCV* tidak diganti maka pesawat tersebut dinyatakan *grounded* (Citilink, 2025). Ketentuan ini menegaskan bahwa *FCV* hanya dapat ditoleransi dalam batas waktu dan kondisi tertentu, sehingga komponen yang mengalami kegagalan harus segera dilakukan penggantian atau perbaikan sebelum melampaui batas yang ditetapkan, guna mencegah penurunan kelaikan udara dan gangguan operasional yang lebih serius.

Tabel I. 1 Kegagalan Komponen *Flow Control Valve*

Tahun	Total Kejadian	Rata – Rata Jam Terbang Pertahun
2020	3	8899
2021	7	13615
2022	6	14.445
2023	5	20656
2024	12	15651
2025	8	17515
JUMLAH	41	15608

Sumber: PT GMF AeroAsia (2025)

Berdasarkan data dari internal PT. GMF AeroAsia yang disajikan pada Lampiran A dan Tabel I.1, ditemukan bahwa tingginya frekuensi *unscheduled removal Flow*

Control Valve dengan P/N 1806D0000-01 Pada Airbus A320-200, dengan 41 kasus yang tercatat dari tahun 2020-2025. Dengan Contoh temuan kerusakan serta tindakan perbaikan terhadap komponen tersebut dapat dilihat pada Lampiran B. Kondisi ini tidak hanya meningkatkan beban pemeliharaan, tetapi juga berdampak langsung pada *dispatch reliability* pesawat akibat potensi keterlambatan maupun pembatalan penerbangan. Dengan demikian, *FCV* tidak hanya berperan sebagai komponen pendukung sistem kenyamanan, tetapi juga sebagai komponen kritis yang mempengaruhi aspek keselamatan, kelaikan udara, dan keberlangsungan operasi penerbangan secara keseluruhan.

Untuk mencegah terulangnya kegagalan serta mendukung optimasi jadwal perawatan, diperlukan analisis keandalan komponen *Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 berbasis data *time to failure*. Pendekatan Distribusi Weibull digunakan karena memiliki fleksibilitas tinggi dalam memodelkan berbagai karakteristik kegagalan dan memberikan estimasi parameter keandalan secara akurat. Parameter utama yang dihasilkan meliputi *Mean Time To Failure (MTTF)*, *reliability*, dan *failure rate*, dimana *MTTF* berperan sebagai indikator penting dalam menentukan umur pakai komponen serta penyusunan interval perawatan yang lebih efektif.

Namun, penelitian sebelumnya masih berfokus pada sistem utama pesawat dan belum mengkaji secara spesifik komponen *Environmental Control System (ECS)*, khususnya *Flow Control Valve*. Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan penerapan Distribusi Weibull pada komponen *Flow Control Valve* dalam sistem *ECS* pesawat Airbus A320, yang selama ini masih terbatas dikaji. Penggunaan data *unscheduled removal* aktual memberikan kontribusi empiris dalam mengungkapkan pola kegagalan spesifik, sehingga menghasilkan dasar yang lebih akurat dalam pengambilan keputusan perawatan berbasis kondisi.

Berdasarkan uraian tersebut, analisis kegagalan pada komponen *Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 menjadi penting untuk dilakukan mengingat perannya yang krusial dalam menjaga kelaikan udara dan keberlangsungan operasi pesawat. Tingginya frekuensi *unscheduled removal* serta adanya batasan operasional dalam

ketentuan *MEL* menunjukkan bahwa kegagalan komponen ini tidak dapat ditoleransi dalam jangka panjang dan memerlukan penanganan yang tepat berbasis analisis. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan Distribusi Weibull untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai karakteristik kegagalan, sehingga dapat mendukung penentuan strategi perawatan yang lebih optimal, meningkatkan *dispatch reliability*, serta menjaga keselamatan dan efisiensi operasional pesawat Airbus A320.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan, diantaranya:

1. Tingginya frekuensi *unscheduled removal* pada komponen *Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 menunjukkan adanya kecenderungan kegagalan yang signifikan dalam operasi pesawat Airbus A320.
2. Kegagalan *Flow Control Valve* berdampak langsung pada penurunan kinerja sistem *Air Conditioning* dan *Pressurization*, serta mengurangi redundansi pada *Environmental Control System (ECS)*.
3. Ketentuan *Minimum Equipment List (MEL)* membatasi toleransi kegagalan komponen, sehingga diperlukan penanganan dan penggantian yang tepat sebelum melampaui batas operasional yang diizinkan.
4. Belum dilakukan analisis keandalan berbasis data *time to failure* untuk menentukan parameter penting seperti *MTTF*, *reliability*, dan *failure rate* pada komponen tersebut.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah, batasan dalam tugas akhir ini difokuskan pada:

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada komponen *Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320.
2. Data yang digunakan merupakan data *unscheduled removal* dan *time to failure* periode 2020-2025 dari lingkungan operasional yang tersedia.

3. Analisis keandalan dilakukan menggunakan Distribusi Weibull 2-parameter (*shape dan scale*) untuk menentukan parameter *Mean Time To Failure (MTTF)*, *reliability*, dan *failure rate*, dengan asumsi waktu kegagalan awal dimulai dari nol tanpa mempertimbangkan parameter lokasi.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar nilai *Mean Time To Failure (MTTF)* yang diperoleh dari komponen *Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320 yang dioperasikan oleh PT. GMF AeroAsia?
2. Bagaimana tingkat keandalan (*reliability*) yang dimiliki oleh komponen *Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320 yang dioperasikan oleh PT. GMF AeroAsia?
3. Bagaimana besaran nilai *failure rate* (laju kegagalan) yang terjadi pada komponen *Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320 yang dioperasikan oleh PT. GMF AeroAsia?
4. Bagaimana prediksi umur pakai optimal serta usulan interval perawatan pencegahan yang tepat untuk komponen *Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320 yang dioperasikan oleh PT. GMF AeroAsia berdasarkan analisis Weibull?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung nilai *MTTF* pada komponen *Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pada Airbus A320 di PT. GMF AeroAsia.
2. Menghitung nilai keandalan (*reliability*) pada komponen *Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pada Airbus A320 di PT. GMF AeroAsia.
3. Menghitung nilai *failure rate* pada komponen *Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pada Airbus A320 di PT. GMF AeroAsia.

4. Menentukan umur pakai optimal serta usulan interval perawatan pencegahan komponen *Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 berdasarkan analisis Distribusi Weibull untuk meningkatkan keandalan sistem *air conditioning pack* pada pesawat Airbus A320.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi langsung bagi industri penerbangan, khususnya organisasi *Maintenance, Repair, and Overhaul (MRO)* dan maskapai, dalam meningkatkan efektivitas strategi pemeliharaan berbasis keandalan melalui penerapan Distribusi Weibull. Hasil analisis parameter Distribusi Weibull mencakup nilai *shape parameter* (β) dan *scale parameter* (η) dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan perawatan yang lebih akurat terhadap komponen *Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pesawat Airbus A320 di PT. GMF AeroAsia, termasuk penentuan interval penggantian komponen secara optimal. Dengan demikian, penerapan Distribusi Weibull dalam penelitian ini berpotensi menurunkan frekuensi *unscheduled removal*, meningkatkan *dispatch reliability*, serta meminimalkan gangguan operasional seperti keterlambatan dan pembatalan penerbangan. Selain itu, pemanfaatan Distribusi Weibull sebagai mode analisis keandalan juga mendukung peningkatan efisiensi biaya pemeliharaan dan memastikan keberlangsungan operasi pesawat Airbus A320 yang tetap memenuhi standar kelaikan udara secara berkelanjutan.

G. Sistematika Penulisan

Pembahasan kajian ini disusun sesuai dengan sistematika sebagai kerangka dan pedoman penulisan yang terdiri dari lima bagian sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Pada pendahuluan ini membahas mengenai penjelasan penelitian yang dilakukan. Bab ini mencakup latar belakang, identifikasi masalah, batasan masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini membahas mengenai teori – teori yang bersangkutan dengan penelitian penulis. Teori – teori tersebut sebagai dasar penelitian yang mendukung penelitian penulis.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Menjelaskan mengenai metode penelitian yang bersangkutan dengan analisis keandalan sesuai dengan tema yang dipilih penulis. Bab ini juga berisi kerangka berpikir dan instrumen yang dibutuhkan.

4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Berisi mengenai data – data yang diteliti. Pada bab ini akan dipaparkan hasil yang diperoleh sekaligus pembahasannya mengenai komponen *PACK Flow Control Valve*.

5. Bab V Kesimpulan dan Saran

Dalam bab ini berisi mengenai kesimpulan akhir penelitian dan saran berupa rekomendasi dalam penyesuaian program perawatan komponen *PACK Flow Control Valve*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem *Air Conditioning* dan *Pressurization* Pesawat

Sistem Air Conditioning dan Pressurization merupakan bagian dari *Environmental Control System (ECS)* yang berfungsi untuk menciptakan kondisi lingkungan kabin yang aman, nyaman, dan layak huni bagi penumpang serta awak pesawat selama penerbangan. Pada ketinggian jelajah, tekanan dan temperatur udara luar sangat rendah sehingga tidak memungkinkan manusia untuk bernapas secara normal tanpa bantuan sistem pendukung. Oleh karena itu, sistem *air conditioning* dan *pressurization* dirancang untuk mengatur suhu, tekanan, serta kualitas udara dalam kabin pesawat.

Pada buku (Amalia Yunia Rahmawati, 2020) yang berjudul “*Aviation Maintenance Technical Handbook*” menjelaskan bahwa tekanan atmosfer di permukaan laut berada pada kisaran 14,7 *psi* dan akan menurun seiring dengan bertambahnya ketinggian. Pada ketinggian jelajah pesawat komersial yang dapat mencapai lebih dari 30.000 kaki, tekanan udara luar menjadi sangat rendah sehingga tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan oksigen manusia. Dimana suhu lingkungan sekitar mencapai -60°C serta udara sangat kering dan kerapatan dari udara sangat rendah. Kondisi tersebut membuat manusia dapat mengalami kebingungan dan penurunan kesadaran dalam waktu yang singkat apabila tidak mendapatkan suplai udara yang sesuai (Megria, 1999). Oleh karena itu, sistem *ECS* memiliki peran penting untuk menciptakan kondisi yang aman dan nyaman bagi penumpang.

ECS mencakup pengaturan temperatur, tekanan udara, ventilasi, serta distribusi udara di dalam kabin. Pada pesawat Airbus A320, *ECS* memanfaatkan udara panas bertekanan tinggi yang berasal dari sistem *engine bleed air*. Udara tersebut diregulasi terlebih dahulu sebelum memasuki *air conditioning PACK* agar tekanannya tetap berada di atas tekanan kabin. Hal ini memungkinkan udara hasil proses pendinginan dapat dialirkan dan dicampurkan dengan udara kabin sesuai

kebutuhan. Selain itu, sebagian udara kabin juga diresirkulasi untuk mengurangi kebutuhan suplai udara baru dan meningkatkan efisiensi sistem.

1. Sistem *Air Conditioning* Airbus A320

Sistem *Air Conditioning* yang merupakan bagian utama dari *ECS* selain berfungsi untuk mengatur temperatur dan sirkulasi udara juga berperan sebagai penyedia udara bertekanan yang digunakan oleh sistem *pressurization*. Sistem ini merupakan sistem yang kompleks terdiri dari beberapa subsistem yang saling terhubung, seperti sistem pengendalian temperatur, distribusi udara, pengaturan tekanan kabin, pemanasan, serta pendinginan udara yang berfungsi untuk mengatur suhu udara, menghilangkan kandungan air, serta mengatur jumlah dan temperatur udara (Sun et al., 2020).

Secara umum terdapat dua jenis sistem *air conditioning* yang digunakan pada pesawat, yaitu *Air Cycle Air Conditioning* dan *Vapor Cycle Air Conditioning*. Sistem *Air Cycle* banyak digunakan pada pesawat bermesin turbin dan memanfaatkan udara bertekanan dari *engine bleed air* atau *Auxiliary Power Unit (APU)* sebagai sumber udara. Sedangkan, sistem *vapor cycle* umumnya digunakan pada pesawat bermesin piston dan bekerja dengan prinsip yang mirip dengan pendingin udara pada rumah maupun kendaraan, meskipun beberapa pesawat bermesin turbin juga dapat menggunakan sistem ini (Amalia Yunia Rahmawati, 2020). Secara umum fungsi dari *air conditioning* pada pesawat yakni mengontrol temperatur udara dalam kabin pesawat agar tetap berada dalam rentang yang nyaman bagi penumpang dan awak pesawat, mengatur tekanan kabin agar tetap berada pada tingkat yang aman selama penerbangan, menyediakan ventilasi udara untuk peralatan *avionic* yang sensitif terhadap temperatur tinggi, mengatur sirkulasi udara dalam kabin untuk menjaga kualitas udara, menyediakan udara yang telah dikondisikan untuk berbagai kompartemen pesawat, seperti *cockpit* dan kabin penumpang.

Pada pesawat Airbus A320, sistem *Air Conditioning* dilengkapi dengan dua unit komponen *Air Conditioning PACK (Pneumatic Air Conditioning Kit)* yang berfungsi untuk mengolah udara yang berasal dari sistem *pneumatic* pesawat.

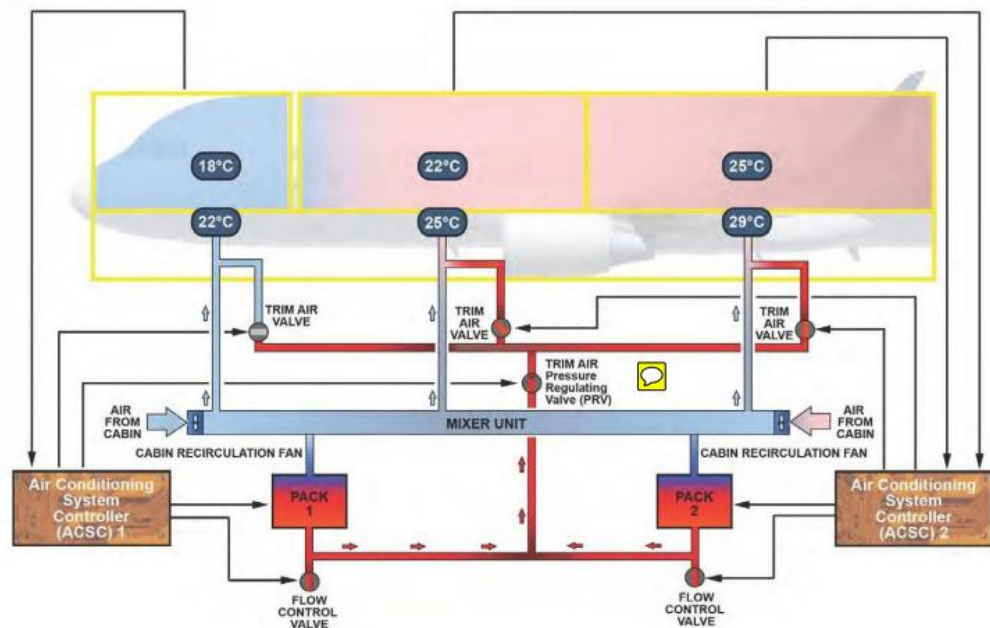
Kedua *PACK* ini letaknya pada bagian bawah *fuselage* pesawat di area *wing root* dekat dengan *landing gear bay*. Udara yang masuk ke dalam *PACK* berasal dari *bleed engine* atau *Auxiliary Power Unit (APU)* yang memiliki tekanan dan temperatur tinggi sehingga tidak dapat langsung digunakan dalam kabin. Oleh karena itu, udara tersebut harus diproses terlebih dahulu melalui beberapa tahap pendinginan dan pengaturan tekanan di dalam *PACK* sebelum didistribusikan ke dalam kabin pesawat.

Proses pendinginan udara dalam *PACK* dilakukan menggunakan *Air Cycle Machine (ACM)*. Udara panas bertekanan tersebut kemudian didinginkan melalui rangkaian *heat exchanger*, kompresor, dan turbin yang terdapat di dalam *air conditioning PACK*. Proses ini bertujuan menurunkan temperatur udara hingga mencapai nilai yang sesuai untuk kenyamanan kabin. Setelah melalui proses pendinginan tersebut, udara yang telah dikondisikan akan dialirkan menuju sistem distribusi udara untuk disalurkan ke dalam kabin pesawat.

Pada pesawat Airbus A320, sistem *air conditioning* menggunakan dua unit *air conditioning pack* yang bekerja secara independen dan paralel. Aliran udara dari sistem *bleed* diatur oleh dua *PACK Flow Control Valve* sebelum memasuki masing – masing *PACK*. Kedua *PACK* ini kemudian menyuplai udara dengan temperatur yang telah diregulasi ke *mixer unit*. Di dalam *mixer unit*, udara dari *PACK* dicampurkan dengan sebagian udara kabin yang disirkulasikan kembali oleh *recirculation fan*. Selain itu, sistem ini juga dapat menerima udara segar dari luar melalui *emergency ram air inlet* apabila terjadi kegagalan pada kedua *PACK* atau dalam kondisi darurat seperti pengeluaran asap (*smoke removal*). Udara hasil pencampuran selanjutnya didistribusikan ke tiga zona utama yaitu kokpit, kabin depan, dan kabin belakang. Setiap zona dapat menerima aliran udara yang berbeda sesuai dengan kebutuhan temperatur dan ventilasi pada area tersebut. Hal ini memungkinkan sistem *air conditioning* menjaga kenyamanan penumpang dan awak pesawat secara optimal selama penerbangan. Dalam kondisi normal, kokpit disuplai oleh *PACK 1*, sedangkan kabin depan dan kabin

belakang disuplai oleh *PACK 2* untuk menjaga keseimbangan dan redundansi sistem (Airbus, 2018).

Dalam sistem ini juga terdapat komponen *Flow Control Valve* atau yang sering disebut *FCV* yang memiliki peran penting pada sistem *air conditioning* pesawat, berfungsi untuk mengatur jumlah aliran udara *bleed air* yang masuk ke dalam *Air Conditioning PACK*. *FCV* merupakan bagian dari sistem yang disebut *Flow Control Unit (FCU)*. Sistem pendistribusian dari *Air Conditioning System* terdapat pada gambar.



Gambar II. 1 *Air Conditioning System A320*

Sumber: *Aircraft Maintenance Manual A320* (2025)

Pengoperasian sistem *Air Conditioning* dikendalikan oleh dua unit *Air Conditioning System Controller (ACSC)*. Setiap *controller* bertanggung jawab terhadap satu *PACK*. *ACSC* menerima data dari berbagai sensor seperti sensor temperatur, sensor tekanan, dan sensor posisi katup. Berdasarkan data tersebut, *ACSC* akan menghitung kebutuhan aliran udara dan temperatur yang diperlukan untuk menjaga kondisi kabin tetap stabil. *ACSC* juga mengontrol beberapa komponen penting seperti *flow control valve*, *bypass valve*, *Ram Air Inlet Door*.

Dengan pengaturan ini, sistem dapat menyesuaikan pendinginan atau pemanasan udara kabin secara otomatis.

Pengaturan temperatur dilakukan dengan memanfaatkan *bypass valve* dan *ram air inlet flap* yang dikontrol melalui *ACSC*. Prinsip kerjanya jika diperlukan pendinginan yang lebih besar, *Ram Air Inlet Flap* akan membuka lebar untuk meningkatkan aliran udara pendinginan melalui *heat exchanger* dan jika diperlukan pemanasan, maka *bypass valve* akan membuka untuk menambahkan udara panas ke dalam sistem. Dengan cara kerja ini, temperatur udara yang keluar dari *PACK* dapat disesuaikan dengan kebutuhan kabin.

2. Sistem *Pressurization Cabin* Airbus A320

Sistem *pressurization* kabin berfungsi untuk mempertahankan tekanan udara di dalam kabin agar tetap berada pada tingkat yang aman dan nyaman. Dengan ketinggian jelajah yang dicapai oleh pesawat komersial, tekanan udara luar dapat turun hingga 25% dari tekanan udara di permukaan laut. Jika kabin pesawat tidak diberi tekanan tambahan, penumpang dapat mengalami kondisi *hypoxia*, yaitu kekurangan oksigen dalam tubuh yang dapat menyebabkan pusing, kehilangan kesadaran, hingga kondisi yang berbahaya bagi keselamatan penerbangan. Oleh karena itu, sistem *pressurization* dirancang untuk menjaga tekanan udara kabin agar setara dengan tekanan udara pada ketinggian sekitar 6.000 – 8.000 kaki, sehingga penumpang tetap dapat bernapas dengan nyaman selama penerbangan.

Prinsip kerja sistem *pressurization* didasarkan pada pengaturan jumlah udara yang masuk dan keluar kabin pesawat. Udara bertekanan tinggi yang berasal dari *bleed air* mesin atau *APU* akan dialirkan ke dalam kabin melalui sistem *Air Conditioning PACK*. Sistem ini bekerja dengan mengontrol jumlah udara yang keluar dari kabin melalui *outflow valve* yang terletak pada bagian *fuselage* pesawat. Dengan mengatur udara yang keluar, tekanan kabin dapat dijaga agar tetap stabil meskipun pesawat berada pada ketinggian jelajah yang tinggi. Prinsip ini memungkinkan sistem *pressurization* untuk menjaga tekanan kabin secara otomatis selama fase penerbangan seperti *takeoff*, *climb*, *cruise*, *descent*, dan *landing*.

Pada Airbus A320, sistem *pressurization* dikendalikan oleh *Cabin Pressure Controller (CPC)* yang bekerja secara otomatis. *CPC* menerima berbagai input, seperti tekanan udara luar, tekanan kabin, dan fase penerbangan, untuk menentukan target tekanan kabin dan laju perubahan tekanan. Sistem ini juga dilengkapi dengan *safety valve* yang berfungsi melindungi struktur pesawat dari kondisi tekanan berlebih maupun tekanan yang terlalu rendah. Sensor tekanan kabin digunakan untuk mengukur tekanan udara di dalam kabin pesawat secara *real-time*. Data dari sensor ini dikirim ke *CPC* untuk digunakan dalam proses pengendalian tekanan kabin. Sistem *pressurization* memiliki dua mode yakni, *Automatic Mode* dan *Manual Mode*. *Automatic mode* sistem *pressurization* dikendalikan penuh oleh *CPC*. Sistem akan secara otomatis menyesuaikan tekanan kabin berdasarkan profil penerbangan yang telah diprogram dalam sistem pesawat. *Manual mode* dapat dioperasikan pilot melalui panel kontrol yang terdapat di *cockpit* jika terjadi kegagalan pada sistem *automatic*. Dalam *manual mode*, pilot dapat mengatur posisi *outflow valve* secara langsung untuk mengontrol tekanan kabin (AIRBUS, 2018).

Sistem *Air Conditioning* dan *Pressurization* memiliki keterikatan yang sangat erat karena udara yang digunakan untuk menekan kabin berasal dari udara yang telah diproses oleh sistem *Air Conditioning*. Oleh karena itu, kinerja sistem *pressurization* sangat bergantung pada keandalan sistem *air conditioning*, khususnya pada komponen pengatur aliran udara seperti *Flow Control Valve*.

B. PACK Flow Control Valve Airbus A320

PACK Flow Control Valve (FCV) merupakan salah satu komponen utama dalam sistem *Air Conditioning* pada pesawat Airbus A320 yang berfungsi untuk mengatur aliran massa (*mass flow*) udara panas bertekanan tinggi dari sistem *engine bleed air* menuju *air conditioning PACK*. Udara yang dialirkan oleh *FCV* memiliki tekanan yang lebih tinggi dibandingkan tekanan kabin, sehingga memungkinkan udara tersebut diproses lebih lanjut untuk memenuhi kebutuhan pendingin dan *pressurization* kabin. Pengaturan aliran udara ini sangat penting agar sistem *air*

conditioning dapat bekerja secara optimal pada berbagai kondisi operasi pesawat. Secara prinsipnya, *FCV* merupakan katup jenis *electro-pneumatic butterfly valve* yang dikendalikan secara elektrik dan digerakkan secara *pneumatic*. *FCV* bekerja dengan sistem kontrol tertutup (*closed loop control*). Sistem pengendali pesawat memberikan perintah berupa nilai *mass flow* yang harus dicapai oleh *valve*. Komputer kemudian membaca beberapa parameter sistem seperti tekanan *upstream*, perbedaan tekanan, temperatur, serta posisi *valve* untuk menghitung aliran udara aktual. Selanjutnya sistem membandingkan nilai aliran yang diperintahkan dengan aliran terukur. Perbedaan antara kedua nilai tersebut digunakan oleh algoritma kontrol untuk menghasilkan perintah posisi *valve*. Perintah tersebut diteruskan ke aktuator *electro-pneumatic* berupa *torque motor* yang mengatur tekanan pada *control chamber* sehingga *valve* bergerak ke posisi yang diperlukan untuk menghasilkan aliran udara sesuai dengan perintah *Air Conditioning System Controller (ACSC)*.



Gambar II. 2 Komponen *PACK FCV* Airbus A320
Sumber: PT. GMF AeroAsia (2025)

Pada Airbus A320, masing – masing *air conditioning PACK* dilengkapi dengan satu *FCV*, dimana *ACSC 1* mengendalikan *FCV* pada *PACK 1* dan *ACSC 2* mengendalikan *FCV* pada *PACK 2*. Selain berfungsi sebagai pengatur aliran udara, *FCV* juga memiliki fungsi sebagai katup isolasi. *FCV* secara otomatis akan menutup suplai *bleed air* ke *PACK* dalam kondisi tertentu, seperti selama proses *engine start*,

saat terdeteksi kondisi *engine fire*, pada perintah *ditching*, atau ketika awak pesawat memilih untuk mematikan *PACK*. Selain itu, *FCV* juga berperan dalam memberikan perlindungan terhadap sistem *Air Cycle Machine (ACM)* dari kondisi *overheat* maupun tekanan rendah selama proses *start up PACK* (SAE Technical Paper, 2018). *FCV* merupakan bagian dari *Flow Control Unit (FCU)*, yang di dalamnya terdapat beberapa komponen pendukung, antara lain dua buah *solenoid*, satu *torque motor*, satu sensor posisi, serta dua sensor tekanan. Keseluruhan komponen tersebut bekerja secara terintegrasi dalam satu sistem kontrol untuk mengatur aliran udara *bleed air* yang masuk ke dalam *air conditioning PACK*. *FCU* dirancang dengan konsep keandalan tinggi (*high reliability system*), mengingat perannya sangat penting dalam menjaga performa sistem *air conditioning* pesawat. Oleh karena itu, *FCU* dirancang untuk dapat beroperasi dua mode, yaitu *main operating mode* dan *back-up operating mode*. Mode operasi ini dipilih secara otomatis oleh *ACSC* untuk memastikan kontinuitas fungsi sistem *air conditioning* meskipun terjadi kegagalan pada salah satu komponen pengendali.

Pada saat kondisi normal *FCU* akan beroperasi dalam *main operating mode*, dimana posisi *FCV* dimodulasi secara kontinu oleh *torque motor* berdasarkan beberapa parameter, antara lain permintaan aliran udara (*flow demand*), prioritas operasi pesawat (seperti *take off*, *landing*, dan *pack start*), serta kondisi kegagalan atau *overheat*. Berdasarkan parameter tersebut, posisi *FCV* akan dimodulasi secara bertahap (*modulating control*) untuk menghasilkan aliran udara yang sesuai dengan kebutuhan sistem. Pengaturan aliran udara dilakukan dengan memanfaatkan sinyal dan *differential pressure* sensor untuk menentukan besarnya aliran udara yang masuk ke *PACK*. Selain itu, sensor tekanan *inlet PACK* digunakan untuk menghitung kebutuhan udara yang diperlukan agar *PACK* dapat beroperasi secara optimal.

keselamatan penerbangan. Selain itu, *FCV* akan menutup secara otomatis selama proses *engine start* guna menjaga stabilitas sistem pneumatik, dan akan kembali membuka sekitar 30 detik setelah proses *start* selesai. Logika pengaturan ini menunjukkan bahwa *FCV* tidak hanya berfungsi sebagai pengaturan aliran, tetapi juga berperan dalam mendukung keselamatan dan efisiensi operasi pesawat secara keseluruhan. *FCV* harus mampu bekerja secara presisi dalam kondisi tekanan dan temperatur yang tinggi, serta beradaptasi terhadap berbagai perubahan kondisi operasi pesawat. Tingginya beban tekanan dan temperatur yang dialami oleh *FCV* selama operasi menjadikan komponen ini rentan terhadap kegagalan baik akibat keausan mekanis, gangguan sensor, maupun ketidakseimbangan sistem pneumatik. Oleh karena itu, analisis keandalan terhadap *FCV* menjadi penting untuk memahami karakteristik kegagalan komponen serta sebagai dasar dalam penentuan strategi perawatan yang lebih efektif. Dokumentasi kondisi fisik *PACK Flow Control Valve* yang digunakan pada pesawat Airbus A320 dapat dilihat pada Lampiran D.

C. Perawatan Pesawat Udara

Perawatan (*maintenance*) adalah pelaksanaan seluruh kegiatan yang bertujuan untuk memastikan kelaikan udara pesawat tetap terjaga secara berkelanjutan, yang mencakup salah satu atau kombinasi dari *overhaul, inspection, replacement, defect rectification, modification, dan repair* (Indonesia, 2006). Perawatan pesawat udara bertujuan untuk memastikan pesawat selalu dalam kondisi siap operasi (*serviceable*) guna mendukung kelancaran kegiatan penerbangan serta mempertahankan kondisi suatu pesawat udara agar lebih layak terbang sehingga memberikan jaminan penerbangan yang aman dan nyaman bagi konsumen serta dapat mencapai kriteria “*zero accident*” di dunia penerbangan (Driyono, 2019).

Menurut (Mora, 2012) perawatan pesawat udara umumnya diklasifikasikan berdasarkan interval waktu yang sejenis ke dalam kelompok pekerjaan tertentu yang dikenal dengan sebagai *clustering*. Pengelompokan ini bertujuan untuk

mempermudah pelaksanaan perawatan sehingga menjadi lebih efektif dan efisien, pengelompokan tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Flight Hours*, merupakan interval inspeksi yang didasarkan pada jumlah jam operasional suatu pesawat udara.
2. *Flight Cycle*, merupakan interval inspeksi yang didasarkan pada jumlah lepas landas dan pendaratan yang dilakukan pesawat udara. Satu kali lepas landas dan pendaratan dihitung satu *cycle*.
3. *Calendar Time*, merupakan interval inspeksi yang dilakukan sesuai dengan jadwal tertentu.

D. Program Perawatan

Perawatan pesawat udara pada dasarnya memiliki jadwal yang telah ditentukan selama masa operasionalnya. Hal ini disebabkan karena setiap komponen pesawat memiliki batas usia pakai tertentu sehingga perlu dilakukan penggantian secara berkala untuk menjaga kinerja dan keselamatan. Menurut (Mora, 2012) klasifikasi program perawatan dapat dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu perawatan *preventive* dan *corrective*.

1. *Preventive Maintenance* merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan pada komponen sebelum komponen tersebut mengalami kerusakan. Perawatan *preventive* dibagi menjadi dua yakni:
 - a. *Hard Time*, merupakan perawatan yang dilakukan berdasarkan batas waktu dari umur maksimum suatu komponen pesawat. Dengan kata lain, perawatan ini merupakan perawatan pencegahan dengan cara mengganti komponen pesawat meskipun komponen tersebut belum mengalami kerusakan.
 - b. *On Condition*, merupakan perawatan yang memerlukan inspeksi untuk menentukan kondisi suatu komponen pesawat. Setelah itu ditentukan tindakan selanjutnya berdasarkan hasil inspeksi tersebut. Bila ada

gejala kerusakan, komponen tersebut dapat diganti bila alasan – alasan teknik dan ekonominya memenuhi.

2. *Corrective Maintenance* dikenal pula dengan nama *condition monitoring* yaitu perawatan yang dilakukan setelah ditemukan kerusakan pada suatu komponen, dengan cara memperbaiki komponen tersebut. Bila cara perbaikan tidak dapat dilakukan dengan alasan teknik maupun ekonomi, maka harus dilakukan penggantian.

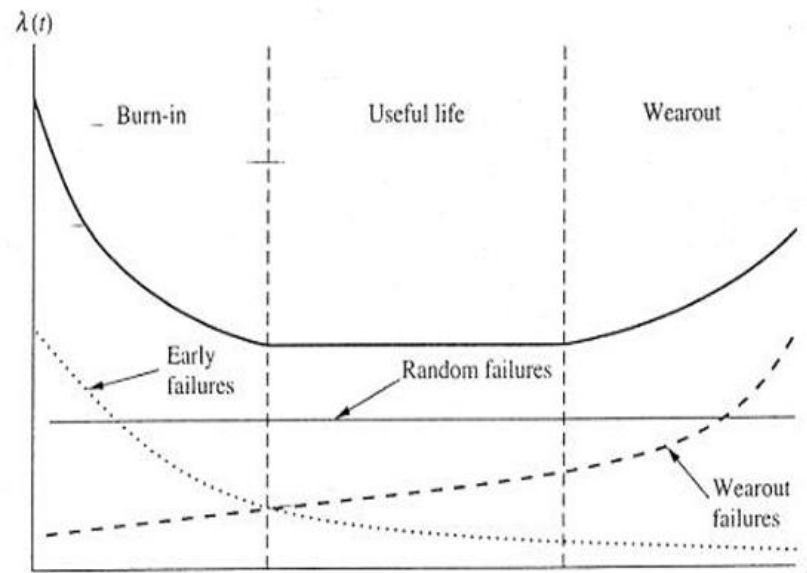
E. Keandalan

Keandalan (*reliability*) adalah kemampuan suatu sistem, komponen, atau produk untuk berfungsi sesuai dengan yang diharapkan tanpa mengalami kegagalan dalam periode waktu tertentu dan kondisi tertentu. Berdasarkan jurnal oleh (Verhagen & Boer, 2018), keandalan memiliki peran krusial karena berkaitan langsung dengan keselamatan penerbangan dan efisiensi operasional. Biaya perawatan pesawat dapat mencapai 10 – 15% dari total biaya operasional maskapai, sehingga analisis keandalan menjadi sangat penting untuk mengoptimalkan strategi perawatan.

Menurut (Rahmat Nurcahyo, Winda Sarmita, 2017) menggunakan tingkat keandalan sebesar 70% sebagai nilai acuan untuk kelas industri di Indonesia. Berdasarkan referensi tersebut, penelitian ini menggunakan nilai reliability 70% sebagai acuan analisis untuk menentukan waktu pemeriksaan awal komponen *PACK Flow Control Valve* sebelum probabilitas kegagalan kumulatif melebihi 30%

Keandalan suatu komponen atau sistem dapat dipresentasikan dalam bentuk kurva bak mandi (*bathub curve*), yaitu kurva yang menunjukkan perubahan laju kegagalan terhadap waktu (Setiawan et al., 2020). Kurva ini terdiri atas tiga tahapan yaitu:

1. Masa awal (*early life*) dengan laju kegagalan yang menurun
2. Masa berguna (*useful life*) dengan laju kegagalan yang relatif konstan
3. Masa aus (*wear-out period*) yang ditandai dengan meningkatnya laju kegagalan akibat bertambahnya umur operasi komponen



Gambar II. 4 *Bathub Curve*

Sumber: (Ebeling, 1997)

F. Indeks Keandalan

Menurut (Dwi Priyanta, 2000), pemilihan indeks keandalan yang digunakan harus disesuaikan dengan karakteristik sistem dan tujuan analisis yang dilakukan. Beberapa parameter yang umum digunakan dalam pengukuran keandalan meliputi:

1. Perkiraan jumlah kegagalan yang dapat terjadi dalam periode tertentu
2. Rata – rata selang waktu antar kegagalan
3. Laju kegagalan suatu proses
4. Rata – rata durasi waktu henti peralatan atau sistem
5. Nilai ekspektasi kerugian yang timbul akibat kegagalan
6. Nilai ekspektasi kehilangan output proses yang disebabkan oleh kegagalan tersebut

Indikator – indikator tersebut dapat dianalisis menggunakan pendekatan teori reliabilitas dengan syarat kondisi operasi dari komponen atau sistem yang diteliti telah memenuhi ketentuan yang dipersyaratkan.

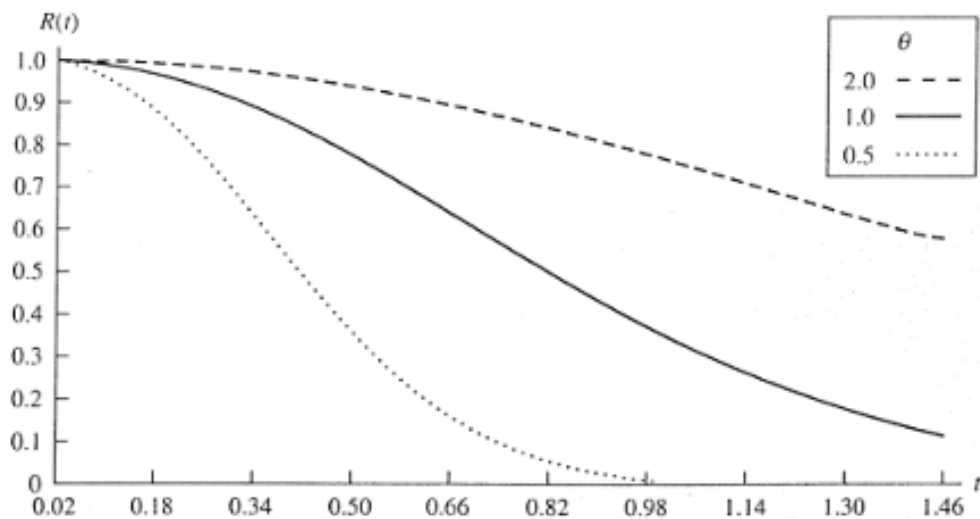
G. Distribusi dan Parameter Weibull

Distribusi Weibull memiliki peranan penting dalam analisis keandalan (*reliability*) dan pemeliharaan (*maintainability*). Distribusi ini banyak diterapkan untuk mengidentifikasi karakteristik kegagalan karena perubahan nilai parameternya memungkinkan Weibull menyesuaikan diri dengan berbagai pola data, bahkan dapat menyerupai karakteristik Distribusi probabilitas lainnya (Otaya, 2016). Kesesuaian penggunaan Distribusi Weibull dapat diamati melalui pola data kegagalan pada grafik Weibull. Apabila titik – titik data membentuk kecenderungan garis lurus maka, distribusi tersebut dinilai sesuai untuk memodelkan data kegagalan. Meskipun demikian, dalam penerapannya titik data tidak selalu terletak tepat pada satu garis lurus, sehingga diperlukan proses pendekatan atau penyesuaian. Penyimpangan tersebut dapat dipengaruhi oleh variasi mekanisme kegagalan maupun kualitas data yang digunakan dalam analisis (Abernethy, 2015).

Berdasarkan jumlah parameternya, Distribusi Weibull dibedakan menjadi Weibull dua parameter dan Weibull tiga parameter. Parameter – parameter tersebut digunakan dalam fungsi probabilitas Weibull untuk memperkirakan waktu operasi kritis suatu komponen atau bagian sistem yang menjadi indikator batas tingkat keandalannya (Setiawan et al., 2023). Menurut (Abernethy, 2015), Weibull dua parameter merupakan model yang paling umum digunakan dalam analisis umur pakai atau *life data analysis*. Hal tersebut disebabkan oleh sebagian besar data kegagalan komponen tidak memiliki periode minimum tertentu yang menjamin komponen bebas dari kegagalan pada awal pengoperasian, sehingga nilai parameter lokasi atau γ dianggap dengan nol. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan Distribusi Weibull dua parameter karena data kegagalan *Flow Control Valve* tidak menunjukkan adanya nilai minimum *life* yang signifikan. Dengan demikian, parameter yang diestimasi hanya terdiri atas parameter bentuk atau *shape parameter* (β) dan parameter skala atau *scale parameter* (η).

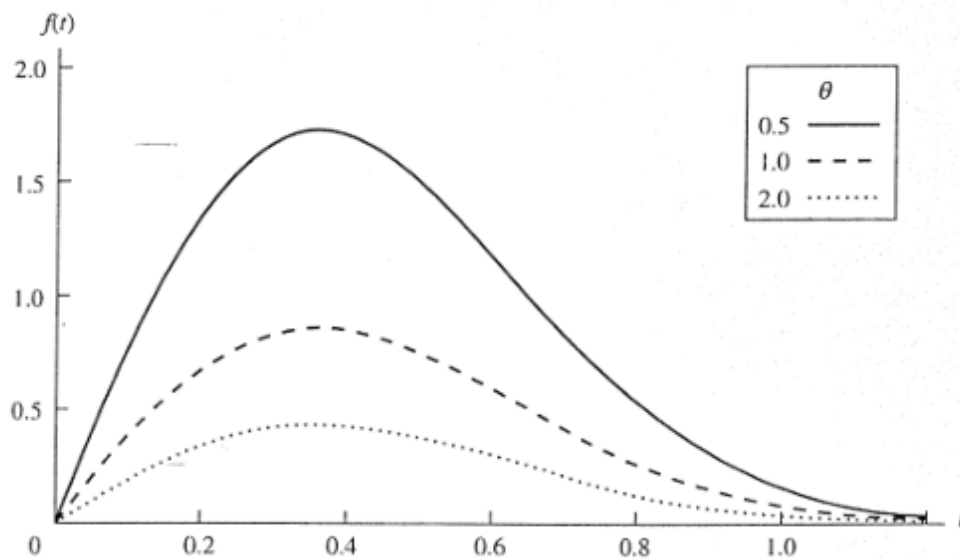
Analisis Weibull juga memiliki keunggulan dalam menyajikan informasi kegagalan melalui bentuk grafik yang relatif sederhana dan mudah dipahami.

Penyajian tersebut dapat membantu *engineer* dan pihak manajemen dalam mengenali pola serta karakteristik kegagalan suatu sistem atau komponen. Selain itu, Distribusi Weibull mampu memodelkan berbagai kecenderungan laju kegagalan, baik yang mengalami peningkatan, penurunan, maupun kondisi yang relatif konstan selama periode pengoperasian (Ebeling, 1997). Fungsi Distribusi Weibull dapat dinyatakan melalui persamaan berikut:



Gambar II. 5 Distribusi Weibull

Sumber: (Ebeling, 1997)

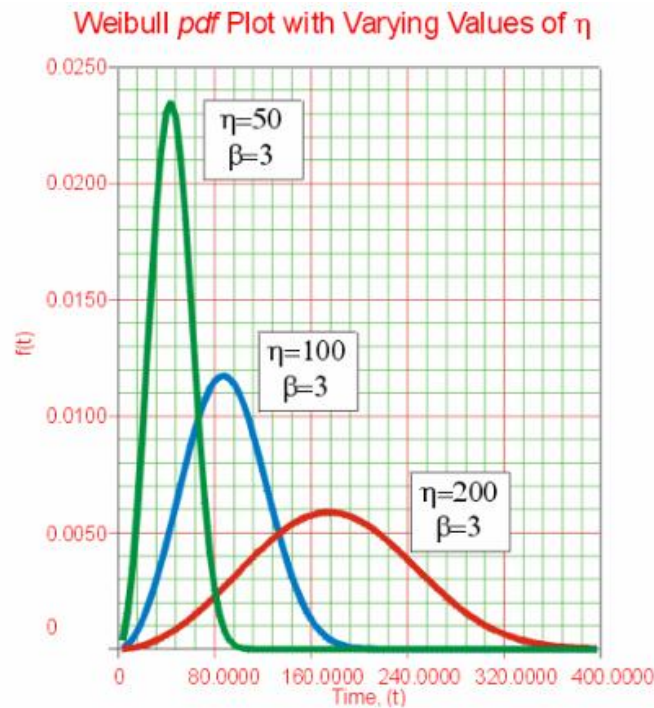


Gambar II. 6 Fungsi Distribusi Weibull

Sumber: (Ebeling, 1997)

1. Parameter skala atau *scale parameter* (η)

Berdasarkan penelitian (Wijaya, 2025) oleh (Abernethy, 2015) *scale parameter* juga parameter dalam perhitungan distribusi probabilitas, namun parameter ini mempengaruhi persebaran distribusi akan terbesar atau terpusat, ditunjukkan pada gambar. Sehingga *scale parameter* (η) merupakan karakteristik usia suatu komponen hingga mengalami kegagalan (Rahmawati & Mulyani, 2020). Nilai $\eta > 0$, disebut juga *characteristic life*. Memberikan informasi umur rata – rata alat yang digunakan. Semakin besar nilai η , semakin panjang waktu operasi yang dapat dicapai sebelum mayoritas kegagalan mulai terjadi.



Gambar II. 7 Grafik Pengaruh *Scale Parameter*

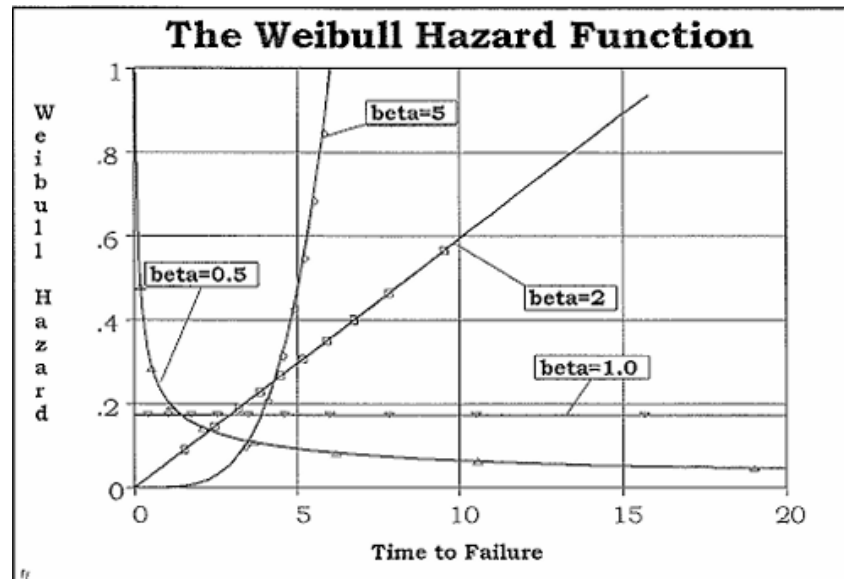
Sumber: (Otaya, 2016)

Jika parameter lain dianggap konstan, peningkatan nilai *scale parameter* (η) akan menyebabkan kurva distribusi bergeser ke arah kanan, dengan tinggi kurva yang menurun, namun tetap mempertahankan bentuk dan lokasinya (Otaya, 2016). Untuk memastikan bahwa nilai *scale parameter* (η) benar – benar mempresentasikan usia kegagalan komponen, diperlukan perhitungan *Mean Time to Failure (MTTF)*. Hal ini karena ketika nilai *shape parameter* (β) lebih besar daripada satu ($\beta > 1$) maka nilai *scale parameter* (η) lebih besar dari *MTTF*.

2. Parameter bentuk atau *shape parameter* (β)

Shape parameter (β) merupakan parameter dalam perhitungan distribusi probabilitas atau menjelaskan bentuk dari *Probability Density Function (PDF)*. Untuk menggambarkan karakteristik distribusi data dengan lebih baik. Parameter ini mempengaruhi bentuk dari suatu distribusi apakah akan luas atau sempit. Nilai *shape parameter* (β) akan mempengaruhi pola

distribusi, penggambarannya akan menentukan tingkat kerusakan yang sering terjadi.



Gambar II. 8 Pengaruh *Shape Parameter*

Sumber: (Abernethy, 2015)

Menurut (Abernethy, 2015) dijelaskan sebagai :

- a. jika nilai $\beta < 1$, maka tingkat kerusakan akan menurun seiring berjalannya waktu. Kondisi ini dikenal sebagai *early life failure*, dimana laju kegagalan mengikuti pola kurva *bathtub* yang menurun. Hal ini biasanya disebabkan oleh tegangan awal yang tidak sesuai, cacat produksi, kesalahan perakitan, maupun kesalahan saat perbaikan.
- b. jika nilai $\beta = 1$, maka tingkat kerusakan bersifat konstan, artinya laju kegagalan tidak berubah pada kurva *bathtub*. Kondisi ini menunjukkan bahwa kegagalan terjadi secara acak (*random*), yang umumnya disebabkan oleh faktor seperti *human error*, kesalahan dalam proses perawatan, atau aktivitas lain yang merusak.
- c. jika nilai $1 < \beta < 4$, maka tingkat kerusakan akan meningkat seiring waktu. Kondisi ini mengikuti pola kurva *bathtub* pada saat *fase*

wear-out, dimana laju kegagalan semakin tinggi. Hal ini biasanya disebabkan oleh faktor seperti korosi, erosi, dan proses keausan lainnya.

3. Selain kedua parameter diatas, Distribusi Weibull tiga parameter juga mengenal *location parameter* atau *minimum life* (γ), menjelaskan tentang permulaan dari pemakaian alat. Apabila nilai γ adalah 0, maka distribusi akan berubah menjadi dua parameter. Menunjukkan bahwa interpretasi dan analisis data dapat dipengaruhi secara signifikan oleh perubahan lokasi. Parameter ini disebutkan disini sekedar untuk memberikan gambaran lengkap mengenai variasi bentuk Distribusi Weibull. Penelitian ini tidak menggunakan parameter tersebut, karena sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, data kegagalan *Flow Control Valve* yang dianalisis tidak menunjukkan adanya periode bebas kegagalan yang signifikan, sehingga $\gamma = 0$ dan distribusi yang digunakan adalah Weibull dua parameter, dengan β dan η sebagai satu – satunya parameter yang diestimasi.

H. Nilai *Time to Failure (TTF)*

Time to Failure (TTF) merupakan waktu operasi suatu komponen yang dihitung sejak komponen dimulai digunakan sampai mengalami kegagalan. Data *TTF* menjadi data dasar dalam analisis Distribusi Weibull karena digunakan untuk menggambarkan umur kegagalan komponen (Attanayake & Ratnayake, 2023). Dalam Distribusi Weibull, data tersebut digunakan untuk menentukan urutan kegagalan, serta mengestimasi parameter bentuk (β) dan parameter skala (η). Satuan *TTF* dapat berupa jam operasi, siklus, jarak tempuh, atau parameter umur lain yang sesuai dengan karakteristik penggunaan komponen (Liu & Liu, 2023).

Menurut (Rahmawati & Mulyani, 2020) menggunakan data *failure time* dalam analisis Distribusi Weibull untuk menentukan parameter dan tingkat keandalan komponen pesawat. Penelitian tersebut menyatakan bahwa umur komponen selama terpasang pada pesawat atau *Time Since Installation (TSI)* dapat digunakan sebagai data *failure rate* dalam perhitungan Weibull.

Dalam pencatatan umur komponen pesawat dikenal beberapa parameter umur operasi, antara lain *Time Since Installation (TSI)* dan *Time Since New (TSN)*. *TSI* menunjukkan waktu operasi yang terakumulasi sejak komponen dipasang pada pesawat hingga komponen dilepas atau sampai waktu pengamatan dilakukan. Sementara itu, *TSN* menunjukkan total waktu operasi yang telah dicapai komponen sejak kondisi baru. Oleh karena itu, nilai *TSN* tetap terakumulasi meskipun komponen pernah dilepas, diperbaiki, atau dipasang kembali pada pesawat (EASA, 2021).

Penelitian ini menggunakan nilai *TSI* sebagai *TTF* karena analisis difokuskan pada lama operasi *PACK Flow Control Valve* sejak dipasang pada pesawat hingga mengalami kegagalan dan dilakukan *unscheduled removal*. Penggunaan *TSI* memungkinkan setiap periode pemasangan komponen diperlakukan sebagai satu interval operasi tersendiri. Pendekatan serupa digunakan oleh (Rahmawati & Mulyani, 2020), yang menyatakan bahwa data usia komponen selama dipasang pada pesawat digunakan sebagai *failure time* dalam analisis Distribusi Weibull.

Menurut (Mulyani & Priyahapsara, 2023) menentukan umur komponen pesawat dengan menghitung selisih antara jam operasi pada saat pelepasan dan jam operasi pada saat pemasangan. Nilai selisih tersebut selanjutnya digunakan sebagai data *time failure* dalam analisis Distribusi Weibull. Dengan demikian, hubungan antara *TTF* dan *TSI* dalam penelitian ini dapat dinyatakan sebagai:

$$TTF = TSI$$

Hubungan tersebut berlaku karena satu kejadian kegagalan didefinisikan sebagai berakhirnya periode operasi komponen sejak pemasangan hingga dilakukan *unscheduled removal*. Nilai *TTF* yang diperoleh kemudian diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar untuk digunakan dalam perhitungan *adjusted rank*, *median rank*, regresi linier, serta estimasi parameter Distribusi Weibull.

I. Perhitungan Parameter Weibull

Estimasi parameter Distribusi Weibull dari data kegagalan dilakukan melalui empat tahapan yang saling berkaitan. Pertama, data waktu kegagalan dan data *suspended*. Apabila tersedia, diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar untuk menentukan nilai *adjusted rank*. Penyesuaian tersebut diperlukan agar keberadaan unit yang belum mengalami kegagalan akibat mode lain tetap diperhitungkan dalam penentuan posisi probabilitas kegagalan. Apabila seluruh data merupakan data kegagalan, nilai *adjusted rank* akan sama dengan urutan data kegagalan biasa (Abernethy, 2015).

Kedua, nilai *adjusted rank* dikonversi menjadi *median rank* menggunakan *Benard's Approximation*. *Median rank* merupakan estimasi probabilitas kumulatif kegagalan atau *unreliability* pada setiap titik data dan digunakan sebagai *plotting position* dalam analisis Distribusi Weibull (Park & Bahn, 2016). Ketiga, nilai *median rank* dan waktu kegagalan ditransformasikan secara logaritmik agar fungsi Weibull yang semula bersifat nonlinier dapat dinyatakan dalam bentuk regresi linier. Nilai regresi kemudian diestimasi menggunakan metode kuadrat terkecil untuk memperoleh konstanta A dan koefisien B (Birgoren, 2025). Keempat, nilai A dan B digunakan untuk menghitung *shape parameter* (β) dan *scale parameter* (η). Keempat tahapan tersebut dijabarkan sebagai berikut:

1. *Adjusted Rank*

Adjusted rank merupakan nilai urutan kegagalan yang telah disesuaikan untuk memperhitungkan keberadaan data tersensor atau *suspended*. Data tersensor adalah unit yang belum mengalami kegagalan sampai akhir periode pengamatan atau unit yang mengalami kegagalan akibat metode kegagalan lain. Walaupun tidak diplot sebagai titik kegagalan, data tersebut tetap harus diperhitungkan dalam penentuan urutan probabilitas kegagalan. Dalam buku (Abernethy, 2015) menjelaskan bahwa pengabaian data *suspended* dapat menghasilkan estimasi yang terlalu pesimistis karena umur operasi unit yang masih bertahan tidak ikut diperhitungkan.

Penyesuaian urutan dilakukan setelah seluruh waktu kegagalan dan waktu tersensor disusun dari nilai terkecil hingga terbesar. Penelitian (Park et al., 2017) menunjukkan bahwa jumlah sampel dan karakteristik penyensoran dapat mempengaruhi ketidakpastian estimasi parameter Weibull. *Adjusted rank* adalah perhitungan yang digunakan untuk memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai *scale parameter* (η) (Rahmawati & Mulyani, 2020).

$$i = \frac{(Reverse Rank) \times (Previous Adjusted Rank) + (N+1)}{(Reverse Rank) + 1} \quad (1)$$

Keterangan:

i	= Nilai <i>adjusted rank</i>
<i>Reverse Rank</i>	= Peringkat terbalik suatu sistem, yaitu peringkat yang dihitung dari urutan paling rendah ke paling tinggi
<i>Previous Adjusted Rank</i>	= Nilai <i>adjusted rank</i> hasil perhitungan sebelumnya
N	= Jumlah sampel

2. Benard's Median Rank

Median rank merupakan estimasi probabilitas kumulatif kegagalan atau *unreliability* pada setiap data kegagalan yang telah diurutkan. Penelitian (Park & Bahn, 2016) menjelaskan bahwa *median rank* dapat diperlakukan sebagai kumpulan titik *unreliability* yang digunakan untuk mengestimasi Distribusi Weibull melalui analisis regresi. *Median rank* merupakan salah satu *plotting position* yang umum digunakan dalam estimasi parameter Weibull dengan metode kuadrat terkecil. Nilai *median rank* dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$BMR = \frac{(i - 0.3)}{(n + 0.4)} \quad (2)$$

Keterangan:

BMR : Benard's Median Rank

i : Urutan kegagalan

N : Jumlah sampel

3. Regresi Linier

Fungsi Distribusi Weibull pada bentuk awal bersifat nonlinier. Oleh karena itu, data waktu kegagalan dan *median rank* perlu ditransformasikan agar membentuk hubungan garis lurus. Dalam penelitian (Birgoren, 2025) menjelaskan bahwa metode *Ordinary Least Squares* digunakan untuk mengestimasi parameter Weibull dengan menyesuaikan model regresi linier terhadap data yang telah ditransformasikan. Dalam penelitian ini digunakan konvensi regresi (Abernethy, 2015), yaitu transformasi probabilitas sebagai variabel X dan logaritma waktu kegagalan sebagai variabel Y, dengan persamaan sebagai berikut:

$$X = \ln(\ln(1/(1 - \text{Median Rank of } Y))) \quad (3)$$

$$Y = \ln(\text{failure time}) \quad (4)$$

Keterangan :

X : Transformasi probabilitas kumulatif kegagalan

Y : Transformasi logaritma natural waktu kegagalan

Median Rank of Y : Nilai *median rank* yang berpasangan dengan Y

t : *Failure time* atau *Time to Failure*

ln : Operator logaritma natural dengan bilangan dasar e

e : Bilangan Euler sebesar 2,718281828

Pasangan nilai X dan Y selanjutnya digunakan untuk membentuk persamaan regresi linier :

$$Y = A + BX$$

Nilai A dan B diestimasi menggunakan metode kuadrat terkecil melalui persamaan:

$$A = \bar{Y} - B\bar{X} \quad (5)$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}} \quad (6)$$

Keterangan :

A : *Intercept* atau konstanta regresi

B : *Slope* atau koefisien regresi

$\bar{X}$: Rata – rata nilai X

$\bar{Y}$: Rata – rata nilai Y

n : Jumlah data kegagalan

4. Penentuan Parameter β dan η

Distribusi Weibull dua parameter ditentukan oleh *shape parameter* (β) dan *scale parameter* (η). Parameter β menggambarkan bentuk distribusi serta kecenderungan perubahan laju kegagalan, sedangkan η merupakan *characteristic life* (Abernethy, 2015). Estimasi parameter Distribusi Weibull dilakukan berdasarkan *Cumulative Distribution Function (CDF)*, yang bentuk awalnya bersifat nonlinier:

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

Agar diperoleh hubungan linier, dilakukan transformasi logaritma natural pada kedua ruas persamaan sebanyak dua kali, menghasilkan bentuk:

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

Dengan mengikuti konvensi pada persamaan (3) dan (4), dimana $Y = \ln(\text{failure time})$ diperlakukan sebagai variabel terikat, maka persamaan tersebut disusun menjadi:

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

Sehingga diperoleh hubungan $B = 1/\beta$ dan $A = \ln(\eta)$. Dengan demikian, nilai *shape parameter* dan *scale parameter* Distribusi Weibull dihitung melalui persamaan:

$$\beta = \frac{1}{B} \quad (7)$$

$$\eta = e^A \quad (8)$$

5. Menghitung *Mean Time to Failure (MTTF)*

Mean Time to Failure (MTTF) merupakan estimasi waktu yang digunakan untuk memprediksi kapan suatu sistem atau komponen akan mengalami kerusakan atau tidak lagi dapat beroperasi (Abernethy, 2015).

$$MTTF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (9)$$

Keterangan :

MTTF : *Mean Time to Failure*

β : *Shape parameter*

η : *Scale parameter*

Γ : *Gamma*

Ketika $\beta = 1$, maka nilai $MTTF = \eta$

Ketika $\beta > 1$, maka nilai $MTTF$ lebih kecil dari η

Ketika $\beta < 1$, maka nilai $MTTF$ lebih besar dari η

6. Menghitung *Reliability*

Reliability merupakan tingkat keandalan suatu sistem dalam menjalankan fungsinya sesuai yang diharapkan, yang dinyatakan dalam bentuk fungsi matematis untuk menggambarkan hubungan antara peluang keandalan terhadap waktu. Karena berbentuk fungsi probabilitas, nilai *reliability* berada pada rentang 0 hingga 1 ($0 < R < 1$) (Abernethy, 2015).

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (10)$$

Keterangan :

$R(t)$: *Reliability*
 e : Bilangan Euler sebesar 2,718281828
 t : Waktu
 β : *Shape parameter*
 η : *Scale parameter*

7. Menghitung *Failure Rate*

Failure rate merupakan jumlah kegagalan yang terjadi pada suatu sistem atau komponen dalam periode waktu tertentu (Abernethy, 2015).

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (11)$$

Keterangan :

$\lambda(t)$: *Failure Rate*
 t : Waktu yang akan dihitung probabilitasnya
 β : *Shape parameter*
 η : *Scale parameter*

8. Menghitung *Cumulative Distribution Function*

Cumulative Distribution Function (CDF) merupakan probabilitas kumulatif bahwa suatu komponen telah mengalami kegagalan sampai waktu operasi. Dalam analisis keandalan, fungsi ini juga disebut sebagai fungsi ketidakandalan atau *unreliability*. Nilai *CDF* berada pada rentang nol sampai satu dan meningkat seiring bertambahnya waktu operasi. *CDF* dapat digunakan untuk mengetahui peluang kegagalan pada umur operasi tertentu, menentukan *B-Life*, serta menjadi dasar dalam mengevaluasi interval perawatan komponen (Abernethy, 2015). Dengan persamaan rumus:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (12)$$

Keterangan :

$F(t)$: *Cumulative Distribution Function (CDF)*
 t : Waktu yang akan dihitung probabilitasnya
 β : *Shape parameter*
 η : *Scale parameter*

J. Prediksi Umur Pakai Menggunakan *B-Life*

B-Life merupakan perkiraan umur operasi ketika persentase tertentu dari populasi komponen telah mengalami kegagalan. Notasi B_p menunjukkan umur saat sebesar $p\%$ populasi diperkirakan gagal. Sebagai contoh, B10 berarti 10% populasi komponen telah gagal, sedangkan 90% lainnya masih dapat beroperasi. Menurut buku (Abernethy, 2015), nilai *B-Life* dapat digunakan untuk menentukan batas umur komponen berdasarkan tingkat kegagalan yang dapat diterima.

Pada Distribusi Weibull dua parameter, nilai *B-Life* dihitung menggunakan persamaan:

$$B_p = \eta \times [-\ln(R)]^{1/\beta} \quad (13)$$

Keterangan :

B_p : Umur operasi pada persentase kegagalan tertentu
 R : Tingkat keandalan yang ditentukan
 β : *Shape parameter*
 η : *Scale parameter*

B-Life dan *MTTF* memiliki fungsi yang berbeda dalam analisis keandalan. *MTTF* menggambarkan rata – rata waktu operasi komponen hingga terjadi kegagalan, sedangkan *B-Life* menunjukkan batas umur operasi berdasarkan persentase kegagalan tertentu. Sebagai contoh, nilai B30 menyatakan bahwa pada waktu tersebut sekitar 30% populasi komponen diperkirakan telah gagal, sementara 70% sisanya masih mampu beroperasi (Liu & Liu, 2023)

Nilai *B-Life* dapat dimanfaatkan sebagai salah satu dasar dalam menentukan interval inspeksi maupun *preventive maintenance* sebelum peluang kegagalan mengalami peningkatan. Penelitian (Shi, 2019) menjelaskan bahwa parameter Distribusi Weibull dapat digunakan untuk memperkirakan umur keandalan pada tingkat kegagalan tertentu dan mendukung penentuan interval perawatan komponen pesawat. Oleh karena itu, analisis *B-Life* dalam penelitian ini digunakan untuk memperkirakan batas umur operasi *PACK Flow Control Valve* berdasarkan tingkat keandalan yang telah ditetapkan.

K. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan kajian terhadap berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan memiliki keterkaitan dengan topik tugas akhir yang diteliti. Kajian ini bertujuan untuk memberikan dasar teoritis dan referensi ilmiah yang mendukung pelaksanaan penelitian. Melalui penelaahan penelitian terdahulu yang disajikan dalam bentuk tabel, peneliti dapat memahami metode, hasil, serta ruang lingkup penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Selain itu, kajian tersebut juga berfungsi untuk mengidentifikasi unsur kebaruan penelitian, menghindari pengulangan kajian yang sama, serta menunjukkan kontribusi penelitian terhadap pengembangan ilmu pengetahuan pada bidang yang diteliti.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dikaji, metode Distribusi Weibull telah banyak digunakan untuk menganalisis keandalan berbagai komponen pesawat udara, seperti *Ignition Leads*(Wijaya, 2025), (Analisristianti, 2024), *Nose Wheel Assy*(Rahmawati & Mulyani, 2020), *High Pressure Shut-Off Valve*(Amri, 2022), *Windshield*(Syahla, 2022), serta *Fuel Control Unit*(Taufik et al., 2025). Penelitian – penelitian tersebut berhasil menentukan parameter kendalan seperti *Mean Time To Failure (MTTF)*, *Reliability*, dan *Failure Rate* menggunakan pendekatan Distribusi Weibull.

Meskipun demikian, objek penelitian yang dikaji masih berfokus pada komponen sistem mesin, bahan bakar, *landing gear*, *APU*, dan *windshield*. Hingga saat ini, penelitian yang secara khusus membahas keandalan *Flow Control Valve (FCV)*

P/N 1806D0000-01 pada sistem *Environmental Control System (ECS)* Airbus A320 masih terbatas. Selain itu, Sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada perhitungan parameter keandalan dan rekomendasi perawatan secara umum.

Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kebaruan dengan menganalisis karakteristik kegagalan *Flow Control Valve* menggunakan data *unscheduled removal* aktual periode 2020-2025 untuk menentukan nilai *Reliability*, *Failure Rate*, dan *MTTF*, serta memprediksi umur pakai optimal dan menyusun usulan interval *preventive maintenance* yang lebih efektif. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan strategi perawatan berbasis keandalan pada sistem *Air Conditioning* dan *Pressurization* pesawat Airbus A320.

Tabel II. 1 Penelitian Terdahulu

NO	TOPIK	MASALAH	TEORI	METODE	TUJUAN	HASIL
1	Analisa Keandalan	Patahnya <i>ceramic</i> insulator menyebabkan kegagalan <i>starting engine</i> .	<i>Reliability</i> , <i>Weibull Distribution</i> , <i>MTTF</i> , <i>Failure Rate</i> .	Kuantitatif (<i>Weibull distribution</i> , regresi linier, <i>failure data analysis</i>).	Menentukan nilai keandalan, <i>MTTF</i> , laju kegagalan <i>ignition leads</i> , serta jadwal perawatan.	Didapatkan nilai <i>reliability</i> , <i>failure rate</i> , dan <i>MTTF</i> ; rekomendasi jadwal perawatan <i>ignition leads</i> .
Dimas Saputra Wijaya – <i>Ignition Leads, CFM56-3 Boeing 737-300</i> (Wijaya, 2025)						
2	Analisa Keandalan	<i>Fuel nozzle</i> mengalami kerusakan yang	<i>Reliability</i> , <i>Weibull Distribution</i> .	Kuantitatif (<i>Weibull analysis</i> ,	Menentukan nilai keandalan <i>fuel nozzle</i>	Didapatkan nilai <i>reliability</i> , <i>failure rate</i> ,

NO	TOPIK	MASALAH	TEORI	METODE	TUJUAN	HASIL
		mempengaruhi pembakaran dan performa <i>engine</i> .		<i>failure data processing</i>).	dan interval perawatan.	dan <i>MTTF</i> ; rekomendasi jadwal perawatan <i>ignition leads</i> .
Sabrina Analisisristianti – <i>Fuel Nozzle, Airbus A320 NEO</i> (Analisristianti, 2024)						
3	Analisa Keandalan	<i>Nose wheel assy</i> mengalami kegagalan berulang berupa <i>worn out</i> pada <i>tyre</i> .	<i>Reliability, Weibull Distribution, Bathtub Curve</i> .	Kuantitatif (<i>Weibull analysis</i> , regresi linier, <i>Mann's test</i>).	Menentukan nilai keandalan, karakteristik kegagalan, dan <i>MTTF nose wheel assy</i> .	$\beta = 3.810$ (<i>early wear out</i>), $\eta \approx 502$ jam, <i>MTTF</i> = 454 jam; <i>reliability</i> menurun seiring waktu.
Fajar Khanif Rahmawati – <i>Nose Wheel Assy, ATR 72-500</i> (Rahmawati & Mulyani, 2020)						
4	Kegagalan komponen <i>HPSOV</i> dapat mengganggu sistem <i>bleed engine</i> dan suplai <i>pneumatic</i> pesawat.	Kegagalan komponen <i>HPSOV</i> dapat mengganggu sistem <i>bleed engine</i> dan suplai <i>pneumatic</i> pesawat.	<i>Reliability, Weibull Distribution, Reliability Centered Maintenance (RCM)</i> .	Kuantitatif (uji <i>pneumatic regulation</i> , regresi linier, Distribusi Weibull).	Menentukan nilai keandalan, <i>MTTF</i> , serta kebutuhan <i>spare part HPSOV</i> .	Didapatkan nilai parameter Weibull (β , η), <i>reliability function</i> , <i>MTTF</i> , serta perhitungan kebutuhan <i>spare part</i> .

NO	TOPIK	MASALAH	TEORI	METODE	TUJUAN	HASIL
Yusuf Amri AS Tanjung – <i>High Pressure Shut-Off Valve (HPSOV), Boeing 777-300ER</i> (Amri, 2022)						
5	Analisa Keandalan	<i>Windshield</i> mengalami <i>heating system failure</i> , delaminasi, <i>crack</i> , dan <i>arching</i> yang dapat mengganggu visibilitas pilot serta keselamatan penerbangan.	<i>Reliability, Weibull Distribution, Failure Mode Effect and Analysis (FMEA)</i> .	Kuantitatif (<i>Weibull reliability analysis</i>) + Kualitatif (<i>FMEA, Risk Priority Number</i>).	Mengidentifikasi kasi mode kegagalan <i>windshield</i> , menentukan nilai keandalan, <i>lifetime critical</i> , dan merencanakan <i>preventive maintenance</i> .	Nilai <i>reliability</i> 70% pada 8600 jam; <i>failure rate</i> 0,000110283 menunjukkan <i>fase wear-out</i> ; <i>RPN FMEA: delamination</i> (60, Low), <i>crack</i> (144, Medium), <i>arching</i> (96, Medium).
Salsabila Syahla Dwi Setiowulandari – <i>Windshield Boeing 737-NG</i> (Syahla, 2022)						
6	Analisa Keandalan	<i>FCU</i> mengalami 19 kasus <i>unscheduled removal</i> (2017–2024) yang	<i>Reliability, Weibull Distribution</i> .	Kuantitatif (<i>Weibull distribution</i> , regresi linier, analisis logbook data).	Menentukan parameter Weibull, <i>MTTF</i> , <i>reliability</i> , <i>failure rate</i> , serta	<i>Shape parameter</i> $\beta = 1,338$ (<i>fase wear-out</i>), <i>Scale parameter</i> $\eta = 6337$ jam;

NO	TOPIK	MASALAH	TEORI	METODE	TUJUAN	HASIL
		mempengaruhi keandalan <i>APU</i> dan operasional pesawat.			menyusun jadwal perawatan <i>FCU</i> .	<i>MTTF</i> = 5820 jam dengan <i>reliability</i> 40,97% (di bawah standar 70%); <i>failure rate</i> 0,000205 per jam.
Hilman Taufik dkk – <i>Fuel Control Unit (FCU) P/N 441921-5, APU Honeywell GTCP131-9(A), Airbus A320-200</i> (Taufik et al., 2025)						

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif, yaitu pendekatan penelitian yang menurut (Prof. Dr. Sugiyono, 2013) merupakan metode yang berlandaskan pada data berbentuk angka dan dianalisis menggunakan teknik statistik untuk memberikan gambaran sistematis, faktual, dan akurat mengenai fenomena serta menjawab permasalahan secara objektif. Dalam penelitian ini, pendekatan analisis dilakukan dengan menggunakan Distribusi Weibull, dimana menurut (Ota, 2016) memiliki peranan penting dalam kajian keandalan (*reliability*) dan pemeliharaan (*maintainability*), khususnya dalam menganalisis pola kegagalan suatu komponen. Hal ini sejalan dengan pendapat (Abernethy, 2015) yang menyatakan bahwa Distribusi Weibull sangat efektif digunakan dalam perencanaan pemeliharaan (*maintenance planning*), terutama yang berfokus pada peningkatan keandalan, sehingga diharapkan dapat meminimalisir terjadinya kegagalan komponen secara tidak terduga.

Penulis melakukan penelitian ini dengan tujuan untuk menganalisis tingkat keandalan komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320 di PT. GMF AeroAsia. Data yang digunakan diperoleh dalam rentang waktu enam tahun, yaitu periode 2020-2025 dengan total 41 kejadian *unscheduled removal* pada komponen tersebut. Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai keandalan komponen serta mengevaluasi performanya. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam memberikan rekomendasi dan usulan perbaikan terhadap jadwal perawatan, sehingga diharapkan dapat mengurangi frekuensi *unscheduled removal* di masa mendatang.

B. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data merupakan tahapan yang dilakukan untuk memperoleh data dan informasi yang dibutuhkan dalam penelitian. Data yang dikumpulkan harus relevan dengan tujuan penelitian agar hasil analisis yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi sebenarnya dari objek yang diteliti. Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan untuk mendukung analisis keandalan komponen *PACK Flow Control Valve (FCV)* P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320 menggunakan metode Distribusi Weibull. Oleh karena itu, teknik pengumpulan data yang digunakan meliputi studi dokumen dan studi literatur. Kedua teknik tersebut digunakan untuk memperoleh data operasional, data kegagalan komponen, serta landasan teori yang mendukung proses analisis dan pembahasan penelitian.

1. Studi Dokumen

Studi dokumen dilakukan dengan mengumpulkan, mempelajari, dan menganalisis berbagai dokumen teknis serta data operasional yang berkaitan dengan komponen *PACK Flow Control Valve (FCV)* P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320. Dokumen – dokumen tersebut digunakan sebagai sumber data utama dalam penelitian untuk memperoleh informasi mengenai karakteristik komponen, riwayat kerusakan, serta data yang diperlukan dalam analisis keandalan menggunakan Distribusi Weibull. Adapun dokumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a) *Aircraft Maintenance Manual (AMM)*
- b) *Illustrated Parts Catalog (IPC)*
- c) *Component Maintenance Manual (CMM)*
- d) Data *part number* komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01
- e) Catatan kerusakan (*unscheduled removal*) komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01
- f) Data waktu kejadian kerusakan (*time to failure*) komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 periode 2020-2025.

Dokumen utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Component Report PACK Flow Control Valve* pada Lampiran A, *Maintenance Discrepancy and Rectification* pada Lampiran B. Dokumentasi proses penggantian dan kondisi fisik komponen masing – masing disajikan pada Lampiran C dan Lampiran D.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teori yang mendukung pelaksanaan penelitian. Penulis mempelajari berbagai sumber pustaka yang berkaitan dengan komponen *PACK Flow Control Valve (FCV)* P/N 1806D0000-01, konsep keandalan (*reliability*), Distribusi Weibull, *Mean Time to Failure (MTTF)*, serta *failure rate*, serta program perawatan pesawat udara. Sumber literatur yang digunakan meliputi buku, jurnal ilmiah, artikel penelitian terdahulu, serta referensi teknis lainnya yang relevan dengan topik penelitian. Melalui studi literatur ini, penulis memperoleh data teoritis yang digunakan untuk mendukung analisis karakteristik kegagalan dan penentuan tingkat keandalan komponen yang diteliti.

C. Sumber dan Jenis Data

Data merupakan komponen penting dalam suatu penelitian karena menjadi dasar dalam proses analisis dan penarikan kesimpulan. Oleh karena itu, pemilihan sumber dan jenis data harus disesuaikan dengan tujuan penelitian agar hasil yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi objek penelitian secara akurat. Dalam penelitian ini, data yang digunakan terdiri atas sumber data dan jenis data sebagai berikut:

1. Sumber Data

Sumber Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder. Menurut (Prof. Dr. Sugiyono, 2013), data sekunder adalah data yang diperoleh peneliti melalui pihak lain atau sumber yang telah tersedia sebelumnya. Data sekunder pada penelitian ini diperoleh dari dokumen operasional dan catatan perawatan pesawat Airbus A320 yang berkaitan dengan komponen *PACK Flow Control Valve (FCV)* P/N 1806D0000-01.

Data utama yang digunakan berupa data *unscheduled removal*, data *time to failure*, serta riwayat kerusakan komponen *PACK Flow Control Valve* periode 2020-2025. Data tersebut digunakan untuk mengidentifikasi pola kegagalan dan menentukan tingkat keandalan komponen yang diteliti. Selain itu, penelitian ini juga didukung oleh beberapa dokumen teknis sebagai referensi, yaitu *Aircraft Maintenance Manual (AMM)*, *Component Maintenance Manual (CMM)*, *Illustrated Parts Catalog (IPC)*, serta dokumen pendukung lain yang berkaitan dengan komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320.

Sebelum dilakukan pengolahan, data terlebih dahulu melalui tahap verifikasi berdasarkan *component report* dan *maintenance discrepancy*. Data yang digunakan dalam analisis, harus memenuhi kriteria, yaitu merupakan komponen *PACK FCV* P/N 1806D0000-01, mengalami *unscheduled removal* akibat adanya *fault* atau kondisi abnormal yang tercatat dalam dokumen perawatan, serta memiliki nilai *Time Since Installation (TSI)* yang dapat digunakan sebagai *Time to Failure (TTF)*. Data berupa *scheduled removal*, *preventive removal*, pelepasan untuk keperluan modifikasi atau logistic, serta data yang tidak memiliki nilai *TSI* lengkap tidak digunakan dalam analisis.

Berdasarkan hasil verifikasi tersebut, seluruh 41 data digunakan dalam penelitian memenuhi kriteria sebagai kejadian kegagalan secara operasional karena pelepasan komponen dilakukan setelah terdapat indikasi *fault* atau kondisi abnormal. Dataset yang diperoleh tidak mencakup komponen yang masih terpasang dan belum mengalami kegagalan hingga akhir periode pengamatan. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan *complete failure* data yang terdiri atas 41 kejadian *unscheduled removal* dan tidak memasukkan *right-censored* data dari komponen yang masih beroperasi.

2. Jenis Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kuantitatif. Menurut (Prof. Dr. Sugiyono, 2013), data kuantitatif merupakan data yang

dinyatakan dalam bentuk angka atau numerik sehingga dapat diolah menggunakan metode statistik maupun perhitungan matematis tertentu.

Data kuantitatif yang digunakan berupa data waktu kegagalan (*time to failure*), jumlah kejadian *unscheduled removal*, dan data operasional komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01. Data tersebut selanjutnya diolah menggunakan metode Distribusi Weibull untuk memperoleh nilai *shape parameter* (β), *scale parameter* (η), *Mean Time to Failure* (MTTF), *reliability*, dan *failure rate*. Hasil pengolahan data tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan prediksi umur pakai optimal serta usulan interval perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) pada komponen yang diteliti.

D. Teknik Analisis Data

Setelah seluruh data yang diperlukan berhasil dikumpulkan, tahapan selanjutnya adalah melakukan pengolahan dan analisis data. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh karakteristik kegagalan komponen serta menentukan tingkat keandalan *PACK Flow Control Valve (FCV)* P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320. Analisis dilakukan menggunakan metode Distribusi Weibull untuk menentukan nilai *failure rate*, *Mean Time to Failure* (MTTF), dan *reliability*. Hasil analisis tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan umur pakai optimal serta menyusun usulan interval perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) yang lebih efektif. Adapun tahapan pengolahan dan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Menentukan data *Time to Failure (TTF)* berdasarkan data *unscheduled removal* komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 yang terjadi selama periode penelitian.
- b) Menyusun dan mengelompokkan data *Time to Failure (TTF)* berdasarkan riwayat *unscheduled removal* komponen yang diperoleh dari data operasional.

- c) Menentukan dan menghitung parameter Distribusi Weibull yang terdiri dari *shape parameter* (β) dan *scale parameter* (η).
- d) Untuk menentukan parameter β dan η , dilakukan proses perhitungan menggunakan regresi linear.
- e) Menghitung nilai *Mean Time to Failure (MTTF)* sebagai estimasi rata – rata waktu operasi komponen sebelum mengalami kegagalan.
- f) Melakukan analisis keandalan pada komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 berdasarkan parameter Weibull yang diperoleh.
- g) Menghitung laju kegagalan (*failure rate*) untuk mengetahui kecenderungan peningkatan atau penurunan probabilitas kegagalan komponen terhadap waktu operasi.
- h) Menentukan prediksi umur pakai optimal serta menyusun usulan interval *preventive maintenance* yang sesuai berdasarkan hasil analisis keandalan, sehingga dapat mendukung peningkatan efektivitas program perawatan dan mengurangi kemungkinan terjadinya *unscheduled removal* pada komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01.

E. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian pada komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 yang dilaksanakan dengan periode waktu 7 bulan, yaitu dimulai dari bulan Juli 2025 hingga bulan Januari 2026. Berlokasikan di PT. GMF AeroAsia dimana bertepatan dengan lokasi kegiatan *OJT (On The Job Training)* penulis.

F. Diagram Alir

Diagram alir penelitian yang ditampilkan pada gambar III.1 menggambarkan tahapan penelitian yang dilakukan secara sistematis mulai dari identifikasi masalah hingga penyusunan kesimpulan. Penelitian diawali dengan proses identifikasi dan perumusan masalah yang bertujuan untuk menentukan permasalahan utama terkait kegagalan komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320. Setelah permasalahan dirumuskan,

dilakukan studi literatur dan studi dokumen untuk memperoleh landasan teoritis serta data yang diperlukan dalam penelitian. Studi literatur dilakukan melalui kajian berbagai referensi ilmiah yang berkaitan dengan keandalan, Distribusi Weibull, dan sistem *Air Conditioning and Pressurization*, sedangkan studi dokumen dilakukan dengan mengumpulkan data teknis dan data operasional komponen yang menjadi objek penelitian.

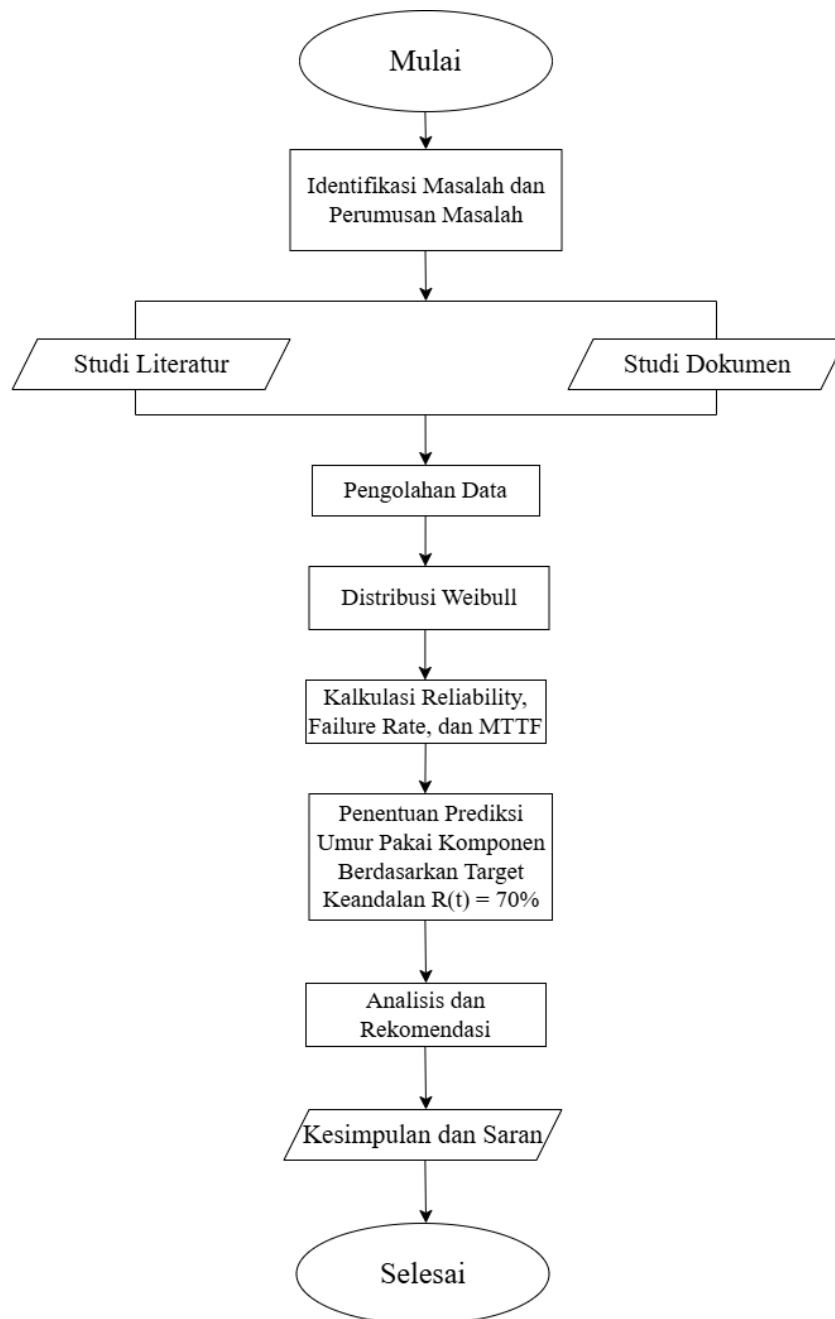
Data yang telah diperoleh selanjutnya memasuki tahap pengolahan data. Pada tahap ini dilakukan penyusunan, verifikasi, dan pengelompokan data *Time to Failure (TTF)* yang diperoleh dari catatan *unscheduled removal* komponen. Data yang telah diolah kemudian dianalisis menggunakan Distribusi Weibull untuk menentukan parameter keandalan, yaitu *shape parameter* (β) dan *scale parameter* (η), yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai *Mean Time to Failure (MTTF)*, *reliability*, dan *failure rate* komponen.

Berdasarkan hasil perhitungan keandalan, dilakukan penentuan prediksi umur pakai komponen dengan menggunakan target keandalan $R(t) = 70\%$. penentuan target keandalan ini bertujuan untuk memperkirakan batas waktu operasi komponen sebelum peluang kegagalannya semakin meningkat. Dengan demikian, umur pakai komponen dapat diprediksi secara lebih terukur dan dapat dijadikan acuan dalam menentukan interval *preventive maintenance*.

Hasil dari seluruh tahapan perhitungan kemudian dianalisis untuk mengetahui kondisi keandalan komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01. Pada tahap analisis dan rekomendasi, hasil *reliability*, *failure rate*, *MTTF*, serta prediksi umur pakai komponen dievaluasi untuk memberikan rekomendasi perawatan yang lebih efektif. Rekomendasi tersebut diharapkan dapat membantu mengurangi potensi *unscheduled removal* serta meningkatkan keandalan Sistem *Air Conditioning and Pressurization* pada pesawat Airbus A320.

Tahap akhir penelitian adalah penyusunan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan. Kesimpulan disusun untuk menjawab rumusan masalah penelitian, sedangkan saran diberikan sebagai rekomendasi dalam menentukan umur pakai optimal dan interval *preventive maintenance*

yang lebih efektif guna meningkatkan keandalan komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 serta mendukung keberlangsungan operasi pesawat Airbus A320 secara aman dan efisien.



Gambar III. 1 Diagram Alir
Sumber: (Sumber Pribadi, 2026)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menyajikan hasil pengolahan dan analisis data terhadap komponen *PACK Flow Control Valve (FCV)* P/N 1806D0000-01 yang digunakan pada sistem *Air Conditioning PACK* pada pesawat Airbus A320. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan Distribusi Weibull dua parameter untuk mengkarakteristik pola kegagalan komponen berdasarkan data *time to failure (TTF)* yang diperoleh dari data *unscheduled removal* selama periode penelitian. Pendekatan ini dipilih karena mampu memodelkan karakteristik kegagalan komponen secara kuantitatif, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi tingkat keandalan serta memprediksi umur pakai komponen secara lebih akurat.

Tahapan analisis diawali dengan pengolahan data *TTF* untuk memperoleh parameter Distribusi Weibull, yaitu *shape parameter* (β) dan *scale parameter* (η) melalui metode regresi linier. Parameter tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menghitung *Mean Time to Failure (MTTF)*, *Reliability*, *Cumulative Distribution Function (CDF)*, *Failure rate*, dan *B-Life* pada berbagai tingkat probabilitas kegagalan. Selain itu, hasil analisis dimanfaatkan untuk menentukan optimal *replacement age* serta menyusun rekomendasi *interval preventive maintenance* yang sesuai dengan karakteristik degradasi komponen selama masa operasional.

Penyajian hasil penelitian dalam bab ini disusun secara sistematis mengikuti tahapan analisis kuantitatif yang telah dijelaskan pada Bab III, dimulai dari deskripsi data penelitian, pengolahan Distribusi Weibull, perhitungan parameter keandalan, hingga interpretasi setiap hasil perhitungan berdasarkan teori reliabilitas dan karakteristik kegagalan komponen. Dengan pendekatan tersebut, pembahasan tidak hanya berfokus pada penyajian hasil numerik, tetapi juga memberikan interpretasi teknis mengenai perilaku kegagalan komponen serta implikasinya terhadap strategi pemeliharaan yang lebih efektif dan berbasis

keandalan (*reliability-centered maintenance*). Oleh karena itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam penentuan kebijakan penggantian komponen dan penyusunan interval perawatan preventif yang mampu meningkatkan keandalan sistem *Air Conditioning PACK* sekaligus meminimalkan potensi terjadinya *unscheduled removal* pada pesawat Airbus A320.

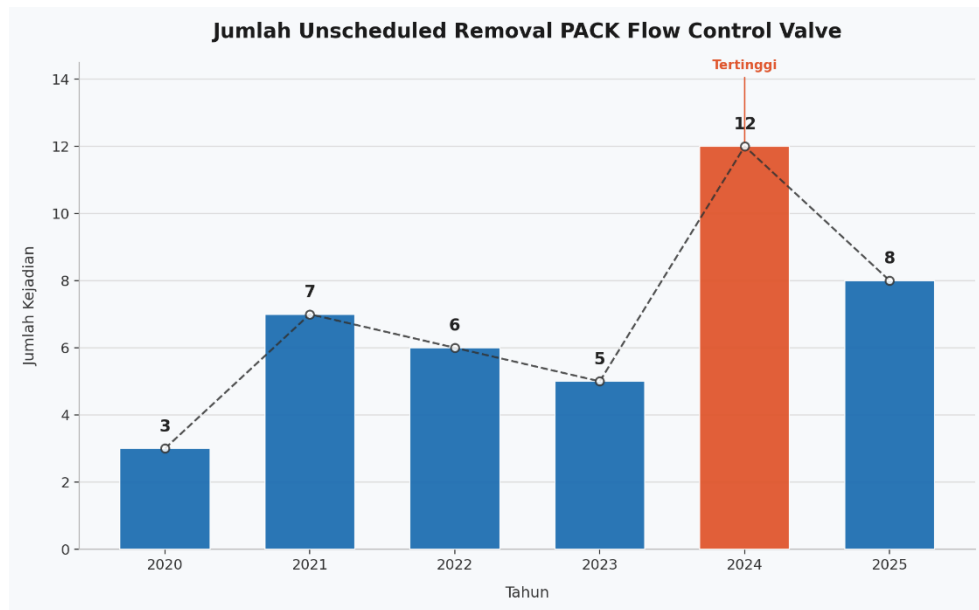
A. Pengolahan Data Awal dan Parameter Distribusi Weibull

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data *unscheduled removal* komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320 selama periode 2020-2025. Data *unscheduled removal* digunakan sebagai dasar penelitian karena menunjukkan kejadian pelepasan komponen dari pesawat yang dilakukan di luar jadwal perawatan terencana. Dengan demikian, data tersebut dapat menggambarkan adanya kegagalan aktual yang terjadi pada komponen selama masa operasi.

Pada penelitian ini, komponen yang dianalisis adalah *PACK Flow Control Valve* yang memiliki fungsi penting dalam mengatur aliran *bleed air* menuju *Air Conditioning PACK*. Kegagalan pada komponen ini dapat mempengaruhi kinerja sistem *air conditioning* dan *pressurization*, sehingga diperlukan analisis keandalan untuk mengetahui karakteristik kegagalan, rata – rata umur operasi, serta dasar penentuan interval perawatan pencegahan yang lebih tepat.

Berdasarkan Tabel I.1 yang terdapat pada Bab I, terdapat 41 kejadian *unscheduled removal PACK Flow Control Valve* selama periode 2020 – 2025. Jumlah kejadian tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan tahun untuk melihat kecenderungan awal kegagalan komponen selama periode pengamatan. Jumlah *unscheduled removal* komponen *PACK Flow Control Valve* mengalami fluktuasi selama periode 2020 – 2025. Tercatat pada data tahun 2024 terjadi peningkatan yang cukup signifikan menjadi 12 kejadian. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kegagalan *PACK Flow Control Valve* tidak terjadi dalam jumlah yang sama setiap tahun. Perbedaan jumlah kejadian ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti tingkat utilitas pesawat, umur operasi komponen,

kondisi lingkungan kerja sistem, serta beban tekanan dan temperatur yang diterima oleh komponen selama beroperasi.



Grafik IV. 1 Jumlah *Unscheduled Removal PACK Flow Control Valve* Periode 2020 - 2025

Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)

Grafik IV.1 memperlihatkan secara visual bahwa jumlah *unscheduled removal PACK Flow Control Valve* selama periode 2020 – 2025 mengalami perubahan setiap tahun. Grafik tersebut menunjukkan jumlah kejadian yang paling tinggi pada tahun 2024 terdapat adanya peningkatan frekuensi kegagalan pada periode tersebut, sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui apakah kegagalan tersebut berkaitan dengan pola keausan komponen atau hanya merupakan kejadian acak.

Dalam penelitian ini, *Time Since Installation (TSI)* digunakan sebagai *Time to Failure (TTF)* karena *TSI* mempresentasikan umur operasi komponen sejak dipasang hingga mengalami *unscheduled removal*. Pemilihan tersebut didukung oleh (Yulasmana et al., 2026) yang menggunakan *TSI* dari setiap *unscheduled removal* sebagai variabel umur utama dalam *reliability analysis* komponen pesawat, serta (Rahmawati & Mulyani, 2020) yang secara langsung menggunakan *TSI* sebagai *failure time* pada perhitungan Distribusi Weibull. (F.K

Suciati, 2019) juga menunjukkan bahwa evaluasi reliability komponen *unscheduled removal* menggunakan umur komponen pada saat removal sebagai dasar data kegagalan. Oleh karena itu, *TSI* digunakan untuk menggambarkan *installation interval* yang berakhir dengan *removal*, sedangkan *Time Since New (TSN)* tetap digunakan sebagai informasi pendukung untuk melihat total akumulasi umur pakai sejak baru.

Tabel IV. 1 Ringkasan Data *Time to Failure* Komponen *PACK Flow Control Valve*

Uraian	Hasil
Objek penelitian	<i>PACK Flow Control Valve</i> P/N 1806D0000-01
Jenis pesawat	Airbus A320
Periode data	2020–2025
Jumlah data kegagalan	41 data
<i>TTF</i> terendah	928 <i>FH</i>
<i>TTF</i> tertinggi	29.774 <i>FH</i>
Rata-rata <i>TTF</i> data	15.608 <i>FH</i>

Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)

Berdasarkan tabel IV.1, diketahui bahwa jumlah data kegagalan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 41 data. Nilai *TTF* terendah sebesar 928 *FH* menunjukkan bahwa terdapat komponen *PACK Flow Control Valve* yang mengalami kegagalan pada umur operasi yang relatif rendah. Sementara itu, nilai *TTF* tertinggi sebesar 29.774 *FH* menunjukkan bahwa terdapat komponen yang mampu bertahan dalam waktu operasi yang cukup panjang sebelum mengalami kegagalan. Rata – rata *TTF* dari keseluruhan data adalah 15.608 *FH*. Data lengkap mengenai *unscheduled removal* dan *Time to Failure PACK Flow Control Valve* dapat dilihat pada Lampiran A. Rentang nilai *TTF* yang cukup lebar menunjukkan bahwa umur kegagalan *PACK Flow Control Valve* bervariasi. Variasi ini dapat terjadi karena setiap komponen tidak selalu bekerja dalam kondisi yang sama. Oleh sebab itu, analisis tidak cukup hanya menggunakan nilai rata – rata *TTF*, tetapi perlu menggunakan metode statistik keandalan yang mampu menggambarkan pola kegagalan komponen secara lebih representatif.

B. Menentukan dan Menghitung Nilai Parameter Distribusi Weibull

Penentuan parameter Distribusi Weibull dilakukan dengan menggunakan data *TTF* yang telah diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar. Data tersebut kemudian diberi *rank*, *reverse rank*, *adjusted rank*, dan *median rank*. Tahapan ini diperlukan untuk memperoleh probabilitas kumulatif kegagalan yang selanjutnya ditransformasikan ke dalam bentuk regresi linier. Dalam penelitian ini digunakan Distribusi Weibull dua parameter, yaitu *shape parameter* (β) dan *scale parameter* (η). Langkah perhitungan parameter Distribusi Weibull dilakukan sebagai berikut:

1. Menentukan Nilai *Adjusted Rank*

Nilai *adjusted rank* digunakan untuk menentukan urutan kegagalan yang akan dipakai dalam perhitungan *median rank*. Berdasarkan hasil verifikasi terhadap *component report* dan *maintenance discrepancy*, seluruh 41 data yang digunakan merupakan kejadian *unscheduled removal* yang disertai indikasi *fault* atau kondisi abnormal serta memiliki nilai *TSI* yang lengkap. Tidak terdapat data *preventive removal*, *scheduled removal*, maupun data *suspended* dalam dataset yang diperoleh. Dengan demikian, seluruh data diperlukan sebagai *complete failure* data.

Karena tidak terdapat data tersensor dalam dataset, nilai *adjusted rank* sama dengan urutan kegagalan biasa, yaitu dari 1 sampai 41 setelah data *TTF* diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar. Perhitungan *adjusted rank* tetap ditampilkan untuk menjaga konsistensi tahapan analisis Weibull, tetapi pada penelitian ini tidak terjadi penyesuaian peringkat akibat adanya data *suspended* atau *censored*. Perhitungan dari *adjusted rank* dapat dihitung dengan persamaan (1). Contoh perhitungan *adjusted rank* pertama adalah sebagai berikut:

$$i = \frac{(\text{Reverse Rank}) \times (\text{Previous Adjusted Rank}) + (N+1)}{(\text{Reverse Rank}) + 1}$$

$$i = \frac{41 \times 0 + (41 + 1)}{(41 + 1)} = 1$$

Pada perhitungan pertama, nilai *previous adjusted rank* ditetapkan sebesar 0 karena belum terdapat data kegagalan sebelumnya. Dengan nilai *reverse rank* sebesar 41 dan jumlah data sampel sebanyak 41 data, diperoleh nilai *adjusted rank* pertama sebesar 1. Selanjutnya, nilai *adjusted rank* akan mengikuti aturan kegagalan dari 1 sampai 41.

2. Menentukan Nilai *Median Rank*

Pada tahap pengolahan data *Time to Failure (TTF)*, nilai *median rank* dihitung menggunakan pendekatan *Benard's Median Rank*. Metode ini digunakan untuk memperkirakan peluang kegagalan kumulatif dari setiap data kegagalan berdasarkan urutan waktu kegagalan yang telah disusun dari nilai terkecil hingga terbesar. Dengan kata lain, *median rank* menunjukkan besarnya kemungkinan suatu komponen mengalami sampai pada urutan data tertentu.

Dalam analisis Distribusi Weibull, *median rank* memiliki peran penting karena digunakan sebagai nilai estimasi probabilitas kegagalan kumulatif atau *unreliability*. Nilai ini kemudian dapat digunakan dalam proses perhitungan parameter Weibull, seperti parameter bentuk (β) dan parameter skala (η). Oleh karena itu, sebelum dilakukan analisis keandalan lebih lanjut, setiap data *TTF* perlu diberikan nilai *median rank* sesuai dengan nomor urutan data kegagalannya. Perhitungan *median rank* dilakukan dengan menggunakan persamaan *Benard's Median Rank* dengan persamaan (2) sebagai berikut:

$$BMR = \frac{(i - 0.3)}{(n + 0.4)}$$

Sebagai contoh, pada data pertama dengan urutan kegagalan ke-1, jumlah keseluruhan data yang digunakan dalam penelitian adalah 41 data. Maka nilai *median rank* untuk data pertama dapat dihitung sebagai berikut:

$$BMR = \frac{(1 - 0.3)}{(41 + 0.4)}$$

$$BMR = \frac{0,7}{(41,4)}$$

$$BMR = 0,016908213$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, nilai *median rank* untuk data pertama adalah sebesar 0,016908213 atau sekitar 1,69%. Nilai ini menunjukkan bahwa pada urutan data *TTF* pertama, estimasi probabilitas kumulatif terjadinya kegagalan masih sangat kecil. Semakin besar nomor urut data kegagalan, maka nilai *median rank* juga akan semakin meningkat, sehingga menggambarkan bertambahnya peluang kegagalan kumulatif seiring bertambahnya waktu operasi komponen.

3. Menentukan nilai X dan Y

Setelah nilai *median rank* diperoleh, data kemudian ditransformasikan menjadi variabel X dan Y. Transformasi ini dilakukan karena Distribusi Weibull berbentuk nonlinier, sehingga perlu diubah ke bentuk linier agar dapat dianalisis menggunakan regresi linier.

Nilai X diperoleh dari transformasi median rank sebagai estimasi probabilitas kumulatif kegagalan, sedangkan nilai Y diperoleh dari transformasi *Time to Failure (TTF)* menggunakan logaritma natural. Persamaan (3) dan (4) Sebagai contoh, pada data pertama diketahui *TTF* sebesar 928 *FH* dan *median rank* sebesar 0,016908213. Maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$X = \ln(\ln(1/(1 - \text{Median Rank of Y})))$$

$$X = \ln(\ln(1/(1 - 0,016908213))) = -4,071442$$

Untuk nilai Y perhitungannya sebagai berikut:

$$Y = \ln(\text{failure time})$$

$$Y = \ln(928) = 6,8330317$$

Berdasarkan hasil tersebut, diperoleh nilai X sebesar -4,071442 dan nilai Y sebesar 6,8330317. Selanjutnya, perhitungan yang sama dilakukan pada seluruh data *TTF* untuk digunakan dalam analisis regresi linier Weibull.

4. Menentukan nilai regresi linier

Nilai X dan Y yang telah diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai regresi linier. Perhitungan regresi linier bertujuan untuk memperoleh nilai konstanta A dengan persamaan (5) dan koefisien B dengan persamaan (6) yang selanjutnya digunakan untuk menentukan parameter Weibull. Hasil total perhitungan regresi linier ditunjukkan pada Tabel IV.2.

Tabel IV. 2 Total Perhitungan Regresi Linier

ΣX	ΣY	ΣX^2	$\Sigma X.Y$
-22,8888	390,3889	71,59378	-188,757

Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)

Tabel IV. 3 Average X dan Y

Average X	Average Y
-0,558263966	9,52167

Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)

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

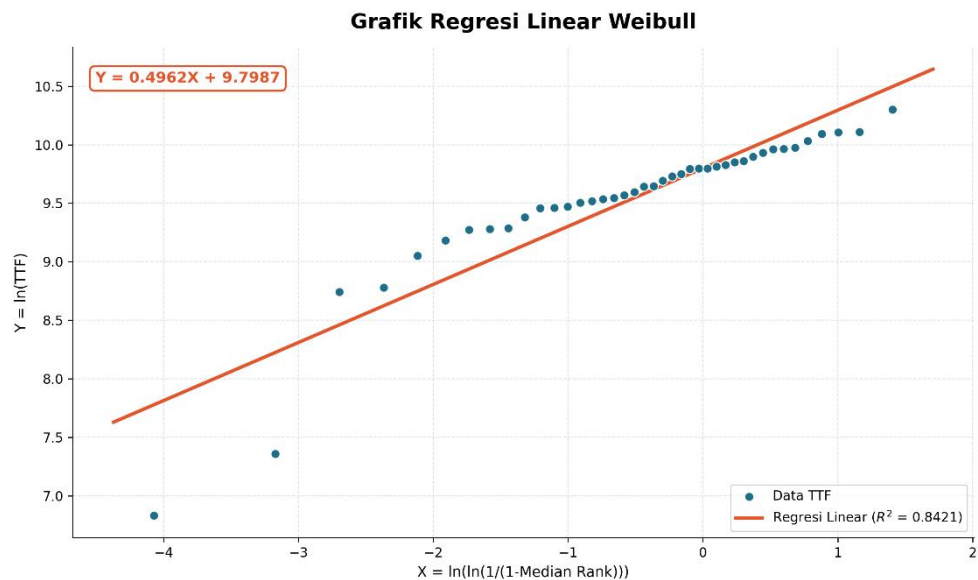
$$B = \frac{-188,75650125 - \frac{(-22,88882262 \times 390.28885669)}{41}}{71,59378205 - \frac{(-22,88882262)^2}{41}}$$

$$B = 0,496185407$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$

$$A = 9,521679432 - (0,496185407 \times -0,558263966) = 9,798681865$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai B sebesar 0,496185407 dan nilai A sebesar 9,798681865. nilai tersebut menjadi dasar untuk menentukan *shape parameter* dan *scale parameter* pada Distribusi Weibull.



Grafik IV. 2 Grafik Regresi Linier Weibull

Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)

Grafik IV.2 menunjukkan hubungan antara variabel X dan Y pada data *TTF*. Titik – titik pada data yang mengikuti arah garis regresi menunjukkan bahwa Distribusi Weibull dapat digunakan untuk menggambarkan kecenderungan pola kegagalan *PACK Flow Control Valve*. Garis regresi yang meningkat menunjukkan bahwa umur kegagalan komponen memiliki kecenderungan

bertambah seiring peningkatan probabilitas kegagalan kumulatif. Berdasarkan hasil regresi linier Weibull yang telah dilakukan, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8421 dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,9176. nilai tersebut menunjukkan data bahwa *Time to Failure (TTF)* memiliki hubungan linier yang kuat terhadap model Weibull, dimana sebesar 84,21% variasi data dapat dijelaskan oleh model regresi yang digunakan. Kondisi ini menunjukkan bahwa Distribusi Weibull dua parameter cukup sesuai untuk menggambarkan karakteristik kegagalan *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01, sehingga parameter *shape* (β) dan *scale* (η) yang diperoleh dapat digunakan untuk analisis keandalan selanjutnya.

5. Menentukan nilai *shape parameter* (β) dan *scale parameter* (η)

Setelah nilai A dan B diperoleh, parameter Distribusi Weibull dapat dihitung. Pada bentuk perhitungan ini, *shape parameter* (β) diperoleh dari persamaan (7) sebagai berikut :

$$\beta = 1 / B$$

$$\beta = 1 / 0,496185407 = 2,015375676$$

sedangkan *scale parameter* (η) diperoleh dari persamaan (8) sebagai berikut:

$$\eta = e^A$$

$$\eta = e^{9,7986881865} = 18.009,99 \text{ FH}$$

Tabel IV. 4 Distribusi Parameter Weibull

Parameter	Simbol	Hasil
Jumlah data kegagalan	n	41 data
<i>Shape parameter</i>	β	2,015375676
<i>Scale parameter</i>	η	18.009,99 FH

<i>Gamma</i>	$\Gamma(1+1/\beta)$	0,88610961
<i>Function</i>		

Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)

Perhitungan lengkap mulai dari pengurutan data *TTF*, *adjusted rank*, *median rank*, transformasi X dan Y, regresi linier, hingga penentuan parameter β dan η dapat dilihat pada Lampiran E. Berdasarkan Tabel IV.4, nilai *shape parameter* (β) adalah 2,015375676. nilai tersebut lebih besar dari satu ($\beta > 1$), sehingga karakteristik kegagalan *PACK Flow Control Valve* berada pada fase *wear-out*. Artinya, laju kegagalan komponen cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu operasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa kegagalan tidak bersifat konstan, tetapi dipengaruhi oleh proses degradasi, keausan, atau penurunan performa komponen selama digunakan. Secara teknis, *PACK Flow Control Valve* mengalami siklus pembukaan dan penutupan secara berulang serta terpapar dengan perubahan tekanan dan temperatur udara pneumatik. Kondisi tersebut dapat menyebabkan keausan bagian bergerak, penurunan kemampuan *seal*, peningkatan gesekan, kebocoran internal, dan perlambatan respon katup. Akumulasi kerusakan tersebut menurunkan performa komponen dan menyebabkan peluang kegagalan meningkat seiring bertambahnya jam operasi.

Nilai *scale parameter* (η) sebesar 18.009,99 *FH* menunjukkan *characteristic life* komponen. Dalam Distribusi Weibull, η menggambarkan umur operasi ketika sekitar 63,2% populasi komponen diperkirakan telah mengalami kegagalan. Karena $\beta > 1$, nilai η lebih besar daripada nilai *MTTF* yang akan dihitung pada bagian berikutnya.

C. Menghitung dan Analisis *Mean Time to Failure (MTTF)*

Mean Time to Failure (MTTF) merupakan estimasi rata – rata waktu operasi komponen hingga mengalami kegagalan. Nilai *MTTF* dihitung menggunakan parameter Distribusi Weibull yang telah diperoleh, yaitu *shape parameter* (β)

dan *scale parameter* (η). Perhitungan *MTTF* ditunjukkan dengan persamaan (9) sebagai berikut :

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

$$MTTF = 18.009,99 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{2,015375676} \right)$$

$$MTTF = 18.009,99 \times 0,88610961 = 15.958,83 \text{ FH}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai *MTTF* komponen *PACK Flow Control Valve* adalah 15.958,83 *FH*. Nilai ini menjawab rumusan masalah pertama, yaitu rata – rata umur kegagalan komponen berdasarkan data historis terjadi pada kisaran 15.958,83 *flight hours*. Namun, nilai *MTTF* tidak sebaiknya langsung digunakan sebagai *interval preventive maintenance*, karena pada titik *MTTF* peluang kegagalan komponen sudah cukup besar. Oleh karena itu, nilai *MTTF* perlu dianalisis bersama *reliability*, *CDF*, dan *Failure Rate*. Tahapan perhitungan *MTTF* berdasarkan parameter β dan η secara lengkap disajikan pada Lampiran E.

D. Analisis *Reliability* dan *Cumulative Distribution Function*

Reliability $R(t)$ menunjukkan peluang komponen tetap dapat menjalankan fungsinya tanpa mengalami kegagalan sampai waktu operasi tertentu. Sebaliknya, *Cumulative Distribution Function* atau $F(t)$ menunjukkan peluang komponen telah mengalami kegagalan sampai waktu operasi tersebut. Hubungan antara keduanya adalah $F(t) = 1 - R(t)$. Dengan menggunakan nilai t sebesar *MTTF*, yaitu 15.958,83 *FH*, maka nilai *Reliability* bisa ditemukan menggunakan rumus persamaan (10) sebagai berikut:

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

$$R(t) = e^{-\left(\frac{15.958,83}{18.009,99}\right)^{2,015375676}}$$

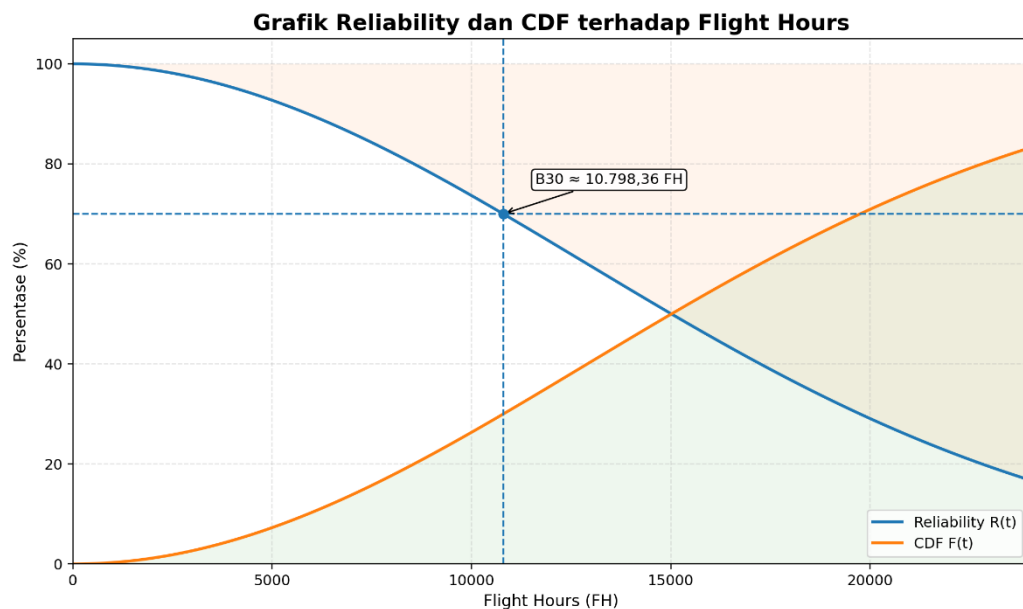
$$R(t) = 0,456698 = 45,67\%$$

Dengan mendapatkan nilai *reliability* sebesar 0,456698 dengan persentase 45,67%, maka nilai *CDF* diperoleh dengan persamaan (12) sebagai berikut:

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

$$F(t) = 1 - 0,456698 = 0,543302 = 54,33\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada saat komponen mencapai *MTTF* sebesar 15.692,17 *FH*, nilai *reliability* adalah 45,67%, sedangkan nilai *CDF* adalah 54,33%. Hal ini berarti pada umur operasi rata – rata kegagalan, sekitar 45,67% komponen diperkirakan masih mampu beroperasi, sedangkan sekitar 54,33% komponen diperkirakan telah mengalami kegagalan. Hasil ini menjawab rumusan masalah kedua bahwa tingkat keandalan komponen menurun seiring bertambahnya *flight hours*.



Grafik IV. 3 Grafik *Reliability* dan *CDF* terhadap *Flight Hours*

Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)

Grafik IV.3 memperlihatkan bahwa kurva *reliability* mengalami penurunan seiring bertambahnya *flight hours*, sedangkan kurva *CDF* mengalami peningkatan. Pada awal masa operasi, *reliability* berada mendekati 100%,

kemudian menurun secara bertahap seiring bertambahnya umur operasi komponen. Sebaliknya, Kurva *CDF* menunjukkan kondisi yang berlawanan, yaitu peluang kegagalan kumulatif meningkat seiring bertambahnya umur operasi komponen. Titik *reliability* 70% tercapai pada umur sekitar 10.789,36 *FH*. Nilai ini penting karena menunjukkan batas ketika sekitar 30% populasi komponen diperkirakan telah mengalami kegagalan. Hasil perhitungan *reliability* dan *CDF* pada beberapa variasi *flight hours* dapat dilihat pada Lampiran F.

E. Analisis *Failure Rate*

Failure rate atau laju kegagalan menunjukkan besarnya peluang suatu komponen mengalami kegagalan pada waktu operasi tertentu, dengan syarat komponen tersebut masih mampu bertahan hingga waktu tersebut. Pada Distribusi Weibull, pola *failure rate* sangat dipengaruhi oleh nilai *shape parameter* (β). Karena nilai β lebih besar dari satu, maka *failure rate* meningkat seiring bertambahnya waktu operasi. *Failure rate* bisa didapatkan dengan menggunakan rumus berikut:

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

$$\lambda(t) = \frac{2,015375676}{18.009,99} \left(\frac{15.958,83}{18.009,99} \right)^{2,015375676-1}$$

$$\lambda(t) = 0,0000989744 \text{ kegagalan/FH}$$

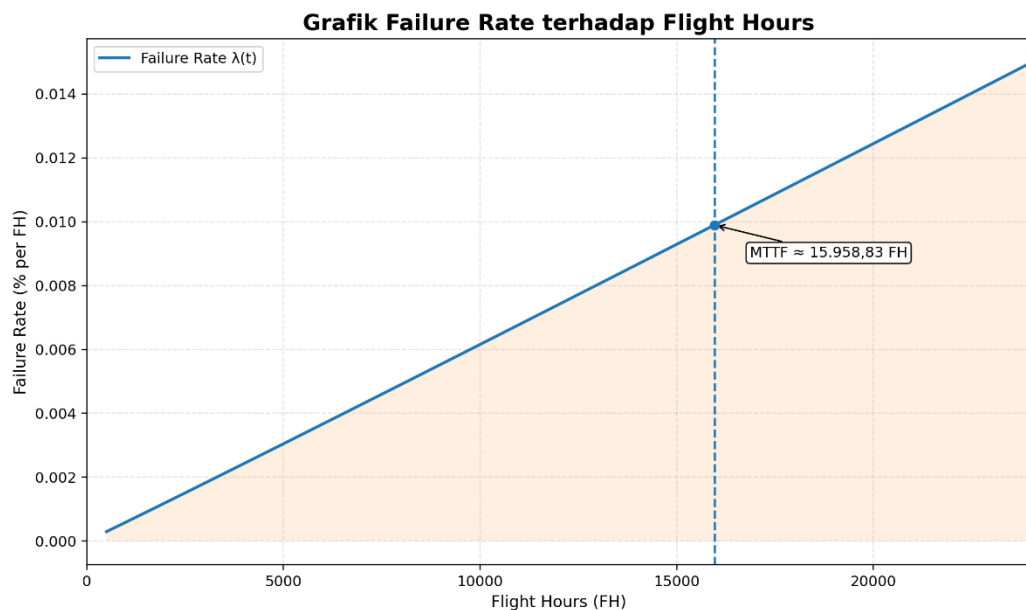
$$= 0,0099\% \text{ per FH}$$

Tabel IV. 5 *Failure Rate* pada waktu *MTTF*

Parameter	Nilai
β	2,015375676
η	18.009,99 <i>FH</i>
$t = MTTF$	15.958,83 <i>FH</i>
<i>Failure rate</i> $\lambda(t)$	0,0000989744 kegagalan/ <i>FH</i>
<i>Failure rate</i> dalam persen	0,0099% per <i>FH</i>

Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)

Berdasarkan Tabel IV.5, *failure rate* pada saat *MTTF* adalah 0,00009897 kegagalan per *FH* atau sekitar 0,0099% per *FH*. Perhitungan lengkap *failure rater* pada berbagai umur operasi komponen disajikan pada Lampiran E. Secara numerik nilai tersebut terlihat kecil, namun hal yang lebih penting adalah pola peningkatannya. Karena $\beta > 1$, *failure rate* tidak konstan, melainkan meningkat seiring bertambahnya umur operasi komponen. Hasil ini menjawab rumusan masalah ketiga bahwa laju kegagalan *PACK Flow Control Valve* meningkat terhadap *flight hours* dan menunjukkan kecenderungan *wear-out*.



Grafik IV. 4 Grafik *Failure Rate* terhadap *Flight Hours*
Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)

Grafik IV.4 menunjukkan bahwa kurva *failure rate* mengalami peningkatan bertahap terhadap *flight hours*. Pola tersebut sesuai dengan nilai $\beta > 1$ yang mengindikasikan bahwa komponen berada pada fase *wear-out*. Implikasi teknis dari kondisi ini adalah perawatan yang hanya menunggu komponen gagal kurang ideal, karena peluang terjadinya *unscheduled removal* akan semakin tinggi pada umur operasi yang lebih lanjut.

F. Analisis *Probability Density Function*

Probability Density Function (PDF) digunakan untuk menggambarkan sebaran peluang kegagalan pada rentang waktu tertentu. Pada penelitian ini, bentuk *PDF* dipengaruhi oleh nilai β yang sedikit lebih besar dari satu. Hal tersebut menunjukkan bahwa peluang kegagalan cenderung meningkat.

Tabel IV. 6 Ringkasan nilai *PDF* pada beberapa *Flight Hours*

<i>Time (FH)</i>	<i>Reliability</i>	<i>CDF</i>	<i>PDF</i>
500,00	99,93%	0,07%	0,00000294
3.000,00	97,34%	2,66%	0,00001765
7.500,00	84,27%	15,73%	0,00003875
15.958,83	45,67%	54,33%	0,00004520
18.009,99	36,79%	63,21%	0,00004117
24.000,00	16,80%	83,20%	0,00002517

Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)

Berdasarkan tabel, nilai *PDF* menunjukkan bahwa peluang kepadatan kegagalan terbesar pada beberapa rentang waktu operasi dan tidak terkonsentrasi pada satu titik saja. Kondisi ini menunjukkan bahwa umur kegagalan *PACK Flow Control Valve* memiliki variasi yang cukup antarunit. Hasil perhitungan *PDF* pada beberapa nilai *flight hours* secara lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran F.

G. Analisis *B-Life* dan Prediksi Umur Pakai

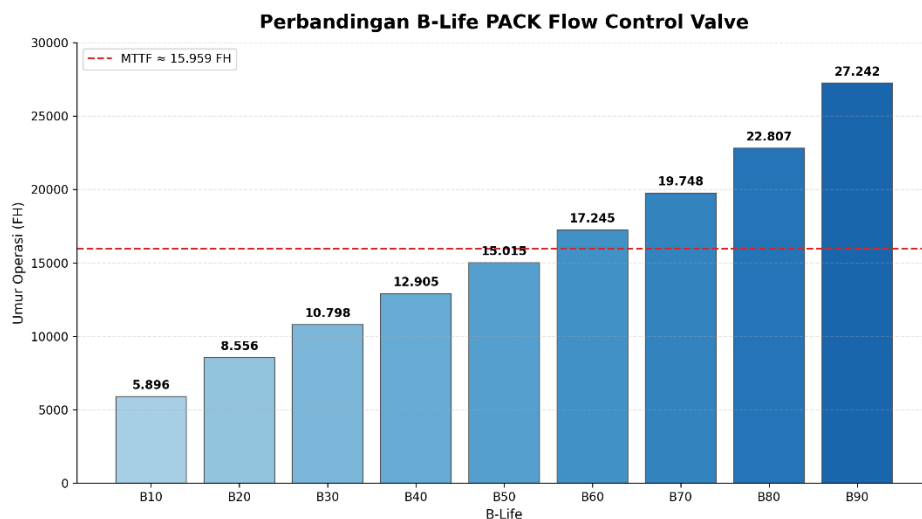
B-Life merupakan indikator umur operasi ketika sejumlah persentase tertentu dari populasi komponen diperkirakan telah mengalami kegagalan. Sebagai contoh, B10 menunjukkan umur ketika 10% populasi komponen diperkirakan telah gagal, sehingga *reliability* yang tersisa adalah 90%. Dalam analisis keandalan, *B-Life* berguna sebagai dasar penentuan interval perawatan yang lebih konservatif dibandingkan *MTTF*. *B-Life* bisa didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

$$B\text{-Life} = \eta \times [-\ln(R)]^{(1/\beta)}$$

Tabel IV. 7 Hasil Perhitungan *B-Life*

<i>B-LIFE</i>	Peluang Gagal	<i>Reliability</i> Tersisa	Umur Operasi
B10	10%	90%	5.896,31 <i>FH</i>
B20	20%	80%	8.556,39 <i>FH</i>
B30	30%	70%	10.798,36 <i>FH</i>
B40	40%	60%	12.905,14 <i>FH</i>
B50	50%	50%	15.015,28 <i>FH</i>
B60	60%	40%	17.245,47 <i>FH</i>
B70	70%	30%	19.747,60 <i>FH</i>
B80	80%	20%	22.806,69 <i>FH</i>
B90	90%	10%	27.242,04 <i>FH</i>

Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)



Grafik IV. 5 Perbandingan B-Life PACK FCV

Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)

Berdasarkan Tabel IV.7, nilai B10 adalah 5.896,31 *FH*, B20 adalah 8.556,39 *FH*, dan B30 adalah 10.798,36 *FH*. B10 menunjukkan bahwa pada umur tersebut sekitar 10% populasi komponen diperkirakan telah mengalami kegagalan dan 90% masih dapat beroperasi. B20 menunjukkan probabilitas kegagalan sebesar 20% dengan *reliability* tersisa 80%, sedangkan B30 menunjukkan probabilitas kegagalan kumulatif sebesar 30% dengan *reliability* sebesar 70%.

Pemilihan B30 sebagai acuan dalam penelitian ini didasarkan pada target *reliability* sebesar 70% yang terdapat pada Bab II berdasarkan referensi dari (Rahmat Nurcahyo, Winda Sarmita, 2017). Dalam konsep *B-Life*, nilai Bp

menunjukkan umur operasi ketika sebesar $p\%$ populasi diperkirakan telah mengalami kegagalan. Dengan demikian, target *reliability* 70% secara matematis berhubungan langsung dengan probabilitas kegagalan sebesar 30%, sehingga nilai *B-Life* yang sesuai adalah B30. Oleh karena itu, pemilihan B30 dipilih karena sesuai dengan tingkat *reliability* 70% yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.

Apabila B10 digunakan sebagai dasar, tindakan perawatan akan dilakukan ketika *reliability* komponen masih sebesar 90%, yaitu pada 5.896,31 FH, sedangkan B20 dilakukan ketika *reliability* masih sebesar 80% pada 8.556,39 FH. Kedua nilai tersebut dapat digunakan sebagai tahapan *monitoring* awal, namun menghasilkan interval pemeriksaan yang lebih awal. Sebaliknya, penggunaan B40 atau *B-Life* yang lebih besar akan menyebabkan *reliability* turun dibawah nilai acuan 70% yang digunakan dalam penelitian. Berdasarkan pertimbangan tersebut, B30 dipilih sebagai titik evaluasi utama karena merupakan batas ketika *reliability* komponen mencapai nilai acuan 70%.

Pemilihan B30 juga diperkuat oleh hasil *MTTF* sebesar 15.958,83 FH. Pada umur *MTTF*, *reliability* *PACK Flow Control Valve* hanya tersisa 45,67%, sedangkan probabilitas kegagalan kumulatif telah mencapai 54,33%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa *MTTF* kurang tepat apabila digunakan secara langsung sebagai *interval preventive maintenance*. Oleh karena itu, nilai B30 sebesar 10.798,36 FH atau dibulatkan menjadi sekitar 10.800 FH digunakan sebagai acuan awal pemeriksaan fungsional atau operasional, bukan sebagai batas penggantian wajib komponen.

H. Perbandingan Hasil B30 dengan Maintenance Program Airbus A320- 200

Untuk mengetahui keterkaitan interval yang diperoleh dari analisis Weibull dengan program perawatan yang berlaku, nilai B30 selanjutnya dibandingkan dengan interval yang terdapat dalam *Maintenance Program* Airbus A320-200 yang terdapat pada Lampiran H. Berdasarkan hasil penelusuran, belum ditemukan *task* terjadwal yang secara khusus menetapkan *functional* atau *operational check* terhadap *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01.

Namun, terdapat beberapa *task* dalam *Maintenance Program* yang dapat digunakan sebagai pembandingan interval maupun perencanaan pelaksanaan perawatan terdapat pada lampiran H, sebagaimana ditunjukkan pada tabel IV.8

Tabel IV. 8 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Maintenance Program

Acuan		Komponen / Task	Interval	Hubungan dengan Hasil Penelitian
MP	Item	IP Bleed Check Valve – 3611412001 ATA 36-11	7.500 FH	Lebih awal 3.298,36 FH dari B30. Dapat menjadi pembandingan konservatif, tetapi objek komponennya berbeda
MP	Item	IP Bleed Check Valve – 3611412010 ATA 36-11	12.000 FH	Lebih tinggi 1.201,64 FH dari B30 dan intervalnya relatif lebih dekat, tetapi tetap merupakan komponen dan <i>effectivity</i> yang berbeda
MP	Item	General Visual 2150000002 ATA 21-50	24.000 FH	Berada pada area yang berkaitan dengan FCV, tetapi objek dan jenis pemerikaannya berbeda serta interval jauh diatas B30

<i>Maintenance A-Phase Check Program Section 3.4</i>	1.000 FH / 6 Month	Dapat digunakan sebagai kesempatan pelaksanaan. A-Phase 10.000 FH merupakan paket terdekat sebelum B30
<i>Maintenance C-Phase Check Program Section 3.4</i>	12.000 FH	Berada cukup dekat dengan B30, tetapi sudah melewati titik reliability 70%

Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)

Berdasarkan perbandingan tersebut, nilai B30 yang telah dibulatkan menjadi 10.800 FH tidak memiliki interval yang sama secara langsung dengan *scheduled task* yang terdapat pada *Maintenance Program* Airbus A320-200. *MP Item* 3611412001 berupa *Check of IP Bleed Check Valve for Condition* memiliki interval 7.500 FH, atau sekitar 3.298,36 FH lebih awal dibandingkan nilai B30. Meskipun sama – sama merupakan komponen valve pada sistem *pneumatic/bleed air*, *IP Bleed Check Valve* merupakan komponen yang berbeda dengan *PACK Flow Control Valve*. Oleh karena itu, interval 7.500 FH hanya digunakan sebagai pembanding dan tidak menjadi dasar langsung dalam penentuan interval B30.

Pada *MP Item* 3611412010 terdapat pemeriksaan *IP Bleed Check Valve* dengan interval 12.000 FH untuk *effectivity* tertentu. Interval tersebut lebih tinggi sekitar 1.201,64 FH dari B30 dan secara numerik lebih dekat dengan hasil penelitian. Namun, interval 12.000 FH telah melewati titik B30, yaitu kondisi ketika *reliability PACK Flow Control Valve* turun menjadi 70%. Selain itu, *task* tersebut tetap diterapkan pada komponen dan *aircraft effectivity* yang berbeda sehingga tidak dapat digunakan sebagai pembanding teknis secara langsung.

Sementara itu, *MP Item 2150000002* pada ATA 21-50 memiliki interval 24.000 FH berupa *General Visual Inspection of Trim Air Ducts between Flow Control Valve and Hot Air Manifold*. Meskipun berada pada area yang berkaitan dengan *Flow Control Valve*, objek pemeriksaannya adalah *trim air ducts* dan bukan fungsi *PACK Flow Control Valve*. Dengan demikian, interval 24.000 FH tidak dapat digunakan sebagai acuan langsung untuk menentukan interval pemeriksaan komponen yang dianalisis.

Dari sisi perencanaan pelaksanaan, *A-Phase Check* dilakukan setiap 1.000 FH atau 6 bulan. Dengan demikian, *A-Phase* pada sekitar 10.000 FH merupakan paket perawatan terdekat sebelum komponen mencapai B30 sebesar 10.798,36 FH. Sementara itu, *C-Phase Check* pada 12.000 FH berada cukup dekat dengan B30, tetapi telah melewati batas *reliability* 70% yang digunakan sebagai acuan penelitian. Oleh karena itu, apabila hasil penelitian akan diterapkan, pemeriksaan *PACK Flow Control Valve* dapat dipertimbangkan untuk dilakukan pada paket perawatan terdekat sebelum B30 atau dikendalikan sebagai *out-of-phase task*.

Berdasarkan perbandingan tersebut, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai masukan bagi operator untuk mengevaluasi penambahan *scheduled task* berupa *functional* atau *operational check* terhadap *PACK Flow Control Valve* ke dalam *Maintenance Program* dengan acuan awal sekitar 10.800 FH. Nilai tersebut berasal dari hasil analisis keandalan komponen dan bukan dari penyesuaian terhadap interval *task* lain yang telah terdapat dalam *Maintenance Program*. Penerapannya tetap memerlukan evaluasi lebih lanjut oleh bagian *Engineering* dan *Reliability* dengan mempertimbangkan kondisi aktual armada, riwayat kegagalan, serta ketentuan perubahan *Maintenance Program* yang berlaku

I. Usulan Interval *Preventive Maintenance*

Berdasarkan hasil analisis Weibull, *PACK Flow Control Valve* memiliki nilai $\beta > 1$ sehingga menunjukkan pola kegagalan *wear-out*. Kondisi ini mendukung penerapan strategi *preventive maintenance* karena risiko kegagalan semakin meningkat seiring bertambahnya waktu operasi. Usulan perawatan tidak hanya

diarahkan pada penggantian komponen, tetapi juga pada pemeriksaan fungsional dan pemantauan riwayat *fault* sebelum komponen mencapai batas keandalan minimum.

Tabel IV. 9 Usulan Interval Perawatan Komponen PACK Flow Control Valve

Jenis Tindakan	Interval Usulan	Keterangan
Monitoring awal	$\pm 5.800 - 6.000 \text{ FH}$	Mengacu pada B10 = 5.896,31 FH, yaitu saat probabilitas kegagalan kumulatif mencapai 10% dan reliability masih sebesar 90%. Monitoring dilakukan terhadap <i>fault history</i> , <i>repetitive defect</i> , <i>abnormal condition</i> , dan performa sistem PACK. Apabila memungkinkan, dapat ditambahkan pemeriksaan visual pada area PACK FCV untuk mendeteksi indikasi <i>abnormal</i> sejak dini.
Functional/Operational Check	$\pm 10.800 \text{ FH}$	Mengacu pada B30 = 10.798,36 FH, yaitu ketika probabilitas kegagalan kumulatif mencapai 30% dan reliability masih sebesar 70%. Interval ini menjadi usulan utama penelitian untuk evaluasi penambahan <i>scheduled task</i> khusus PACK FCV pada <i>Maintenance Program</i> .

Maintenance Opportunity	$\pm 10.800 \text{ FH}$	Apabila functional/operational check akan digabungkan dengan paket perawatan yang sudah ada, pelaksanaan dapat dipertimbangkan pada A-Phase sekitar 10.000 FH, yaitu paket terdekat sebelum mencapai B30. Nilai ini merupakan alternatif pelaksanaan dan bukan pengganti B30.
Evaluasi penggantian terencana	$\pm 15.000 - 15.500 \text{ FH}$	Dipertimbangkan sebelum mendekati <i>MTTF</i> apabila terdapat indikasi degradasi, <i>repetitive fault</i> , atau temuan abnormal.
<i>Corrective Action</i>	Saat <i>fault</i> terkonfirmasi (<i>Fail during monitoring awal & saat OPC</i>)	Penggantian tetap mengikuti <i>AMM</i> serta dilakukan <i>HIL (Hold Item List)</i> sesuai dengan <i>MEL</i> jika <i>PACK FCV</i> tidak tersedia agar pesawat dapat melanjutkan penerbangan sesuai dengan prosedur yang berlaku, dan prosedur operator jika komponen gagal berfungsi.

Sumber: (Pengolahan Data Penulis 2026)

Usulan interval perawatan tersebut disusun berdasarkan hasil perhitungan parameter Weibull pada Lampiran E serta hasil perhitungan *reliability*, *CDF*, *PDF*, dan *failure rate* pada Lampiran F. monitoring awal diusulkan pada kisaran 5.800 – 6.000 *FH* berdasarkan nilai B10 sebesar 5.896,31 *FH*. Pada tahap ini, pemeriksaan diarahkan pada *fault history*, *repetitive defect*, *abnormal condition*, dan performa sistem *PACK*. Apabila memungkinkan, monitoring dapat dikombinasikan dengan pemeriksaan visual pada area *PACK Flow Control Valve* untuk mendeteksi indikasi kondisi abnormal sejak awal.

Usulan utama penelitian adalah pelaksanaan *functional* atau *operational check* pada kisaran 10.800 *FH*, berdasarkan nilai B30 sebesar 10.798,36 *FH*. Pada titik tersebut, *reliability* komponen masih sebesar 70%, sedangkan probabilitas kegagalan kumulatif mencapai 30%. Dengan demikian, interval tersebut digunakan sebagai titik evaluasi sebelum *reliability* komponen turun di bawah nilai acuan penelitian.

Berdasarkan penelusuran terhadap *Maintenance Program* Airbus A320-200, belum ditemukan *scheduled task* yang secara khusus menetapkan *functional* atau *operational check* terhadap *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01. Oleh karena itu, nilai B30 sebesar 10.798,36 *FH* dapat digunakan sebagai masukan kepada operator untuk mengevaluasi penambahan *scheduled task* khusus *PACK Flow Control Valve* ke dalam *Maintenance Program*. Sebagai pertimbangan pelaksanaan, *Maintenance Program* menetapkan *A-Phase* setiap 1.000 *FH*, 1.000 *FC*, atau 6 bulan, sedangkan *task* yang tidak sesuai dengan paket *A-Phase* maupun *C-Phase* dapat dikendalikan melalui *out-of-phase check*. Oleh karena itu, apabila operator ingin mengintegrasikan rekomendasi tersebut ke dalam paket *maintenance*, pemeriksaan dapat dipertimbangkan pada *A-Phase* sekitar 10.000 *FH*, yaitu paket terdekat sebelum mencapai B30.

Evaluasi penggantian terencana dapat dipertimbangkan pada kisaran 15.000–15.500 *FH*, yaitu sebelum komponen mendekati *MTTF* sebesar 15.958,83 *FH*. Namun, interval tersebut tidak dimaksudkan sebagai batas penggantian wajib. Penggantian dilakukan apabila hasil *functional/operational check*, riwayat

repetitive fault, atau kondisi aktual komponen menunjukkan adanya degradasi. Apabila kegagalan terkonfirmasi sebelum interval tersebut, tindakan *corrective maintenance* tetap dilakukan sesuai *AMM*, *MEL*, *HIL*, dan prosedur operator.

Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak dimaksudkan untuk langsung menggantikan *Maintenance Program* yang berlaku, tetapi memberikan masukan berbasis data *reliability* kepada operator untuk mengevaluasi penambahan *scheduled task functional/operational check PACK Flow Control Valve*. Penetapan interval secara operasional tetap memerlukan kajian lebih lanjut oleh bagian *Engineering* dan *Reliability*, termasuk evaluasi data armada yang lebih luas dan proses perubahan *Maintenance Program* sesuai ketentuan yang berlaku.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyajikan kesimpulan yang disusun berdasarkan hasil analisis Distribusi Weibull terhadap 41 data *unscheduled removal* komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320 periode 2020 – 2025. Selain itu, bab ini memuat saran yang dapat dipertimbangkan sebagai dasar pengembangan strategi perawatan berbasis keandalan.

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan yang telah dilakukan, kesimpulan penelitian ini disusun untuk menjawab rumusan masalah sebagai berikut:

1. Nilai *Mean Time to Failure (MTTF)* komponen *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 adalah sebesar 15.958,83 *FH*. Nilai tersebut merupakan estimasi rata – rata waktu operasi komponen hingga mengalami kegagalan berdasarkan parameter Distribusi Weibull, yaitu *shape parameter* (β) sebesar 2,015375676 dan *scale parameter* (η) sebesar 18.009,99 *FH*. Nilai *MTTF* menggambarkan rata – rata umur kegagalan komponen, sehingga tidak tepat digunakan secara langsung sebagai interval *preventive maintenance*.
2. Tingkat keandalan (*reliability*) komponen menurun seiring bertambahnya waktu operasi. Pada saat komponen mencapai *MTTF* sebesar 15.958,83 *FH*, nilai *reliability* sebesar 45,67%, sedangkan nilai *Cumulative Distribution Function (CDF)* sebesar 54,33%. Hal ini menunjukkan bahwa umur tersebut diperkirakan sekitar 54,33% populasi komponen telah mengalami kegagalan dan hanya sekitar 45,67% yang masih mampu beroperasi. Sementara itu, tingkat *reliability* sebesar 70% tercapai pada umur 10.798,36 *FH*.

3. Nilai *failure rate* pada saat *MTTF* adalah sebesar 0,00009897 kegagalan per *FH* atau sekitar 0,0099% per *FH*. Nilai *shape parameter* (β) yang lebih besar dari satu menunjukkan bahwa komponen berada pada fase *wear-out*, sehingga laju kegagalannya tidak bersifat konstan, tetapi meningkat seiring bertambahnya *flight hours*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa strategi perawatan yang hanya menunggu komponen mengalami kegagalan kurang sesuai untuk diterapkan.
4. Berdasarkan analisis *B-Life*, diperoleh nilai B10 sebesar 5.896,31 *FH*, B20 sebesar 8.556,39 *FH*, dan B30 sebesar 10.798,36 *FH*. B30 dipilih sebagai acuan karena pada umur tersebut *reliability* komponen masih sebesar 70%, sesuai dengan tingkat *reliability* yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini yang telah dijelaskan pada Bab II. Oleh karena itu, umur sekitar 10.800 *FH* digunakan sebagai acuan awal pelaksanaan *functional* atau *operational check*. Hasil perbandingan dengan *Maintenance Program* Airbus A320 menunjukkan belum terdapat *scheduled task* yang secara khusus menetapkan *functional* atau *operational check* terhadap *PACK Flow Control Valve* P/N1806D0000-01. Namun terdapat task pemeriksaan *IP Bleed Check Valve* pada interval 7.500 – 12.000 *FH* yang dapat digunakan sebagai pembanding dari sisi perencanaan, meskipun diterapkan pada komponen yang berbeda.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa *PACK Flow Control Valve* memiliki pola kegagalan yang mengarah pada proses keausan (*wear-out*). Pemilihan B30 sebagai acuan pemeriksaan didasarkan pada *reliability* sebesar 70%, sehingga diperoleh interval sekitar 10.798,36 *FH*. Nilai tersebut dapat digunakan sebagai masukan masukan bagi operator untuk mengevaluasi penambahan *scheduled task* berupa *functional* atau *operational check* *PACK Flow Control Valve* ke dalam *Maintenance Program* Airbus A320, setelah melalui kajian lebih lanjut oleh bagian *Engineering* dan *Reliability*.

B. Saran

Berdasarkan Kesimpulan penelitian, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. PT GMF AeroAsia dan operator pesawat dapat mempertimbangkan *functional* atau *operational check* komponen *PACK Flow Control Valve* pada kisaran 10.800 *FH* sebagai acuan awal untuk mengevaluasi penambahan *scheduled task* berupa *functional* atau *operational check* *PACK Flow Control Valve* P/N 1806D0000-01 ke dalam *Maintenance Program* Airbus A320. Apabila akan diintegrasikan dengan paket perawatan yang telah berjalan, pemeriksaan dapat dipertimbangkan pada *maintenance opportunity* terdekat sebelum mencapai B30, misalnya pada kisaran 10.000 *FH*, sehingga *reliability* komponen belum turun melewati batas 70%. Penerapan interval tersebut tetap memerlukan evaluasi oleh bagian *Engineering* dan *Reliability*, data armada yang lebih luas, serta proses perubahan dan persetujuan *Maintenance Program* yang berlaku.
2. Monitoring awal pada kisaran 5.000 – 6.000 *FH*, berdasarkan nilai B10 sebesar 5.896,31 *FH*. Monitoring diarahkan pada pemeriksaan *fault history*, *repetitive defect*, *abnormal condition*, *respons valve*, dan performa sistem *PACK*. Apabila memungkinkan, kegiatan tersebut dapat dikombinasikan dengan pemeriksaan visual pada area *PACK Flow Control Valve* untuk mendeteksi indikasi kondisi abnormal sejak awal.
3. Evaluasi penggantian terencana dapat dipertimbangkan pada kisaran 15.000–15.500 *FH*, yaitu sebelum komponen mendekati *MTTF* sebesar 15.958,83 *FH*, terutama apabila ditemukan *repetitive fault*, penurunan fungsi, atau hasil pemeriksaan yang menunjukkan indikasi degradasi. Nilai tersebut tidak dimaksudkan sebagai batas penggantian wajib, karena keputusan penggantian tetap harus mempertimbangkan kondisi aktual komponen dan prosedur perawatan yang berlaku. Apabila kegagalan terkonfirmasi pada saat *monitoring* maupun *functional/operational check*, tindakan *corrective maintenance* atau penggantian komponen tetap dilakukan sesuai *AMM*, *MEL*, *HIL*, dan prosedur operator yang berlaku.

4. Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan analisis ini menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis*, *Root Cause Analysis*, dan optimasi biaya perawatan agar interval penggantian yang dihasilkan mempertimbangkan aspek teknis, resiko, dan ekonomi secara bersamaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abernethy, D. R. B. (2015). *The New Weibull Handbook*.
- Airbus. (2018). *Flow Control Valve Description*. 321(2), 30–41.
- AIRBUS. (2018). *Chapter 21 Air Conditioning & Pressurization System*. 321.
- Amalia Yunia Rahmawati. (2020). *Aviation Maintenance Handbook - Airframe*. July, 932 (16-21).
- Amri, Y. (2022). *Analisis Keandalan Komponen High Pressure Shut Off Valve Pada Pesawat Boeing 777-300ER Garuda Indonesia Dengan Metode Distribusi Weibull*.
- Analisristianti, S. (2024). *Analisis Keandalan Fuel Nozzle Airbus 320 NEO Menggunakan Distribusi Weibull dan Failure Mode and Effect Analysis DI PT XYZ*.
- Attanayake, A. M. S. R. H., & Ratnayake, R. M. C. (2023). *Digitalization of Distribution Transformer Failure Probability Using Weibull Approach towards Digital Transformation of Power Distribution Systems*.
- Aziz, A., Anna, I., Nahak, F., Rismayanti, I., Ramadian, A. A., Kusumoaji, D., Muzayadah, N. L., & Anwar, R. C. (2021). *Sistem Status Kelaikudaraan Pesawat Udara Berbasis Website Menggunakan Framework CodeIgniter dan PostgreSQL dengan Metode Prototype*. 5(4), 515–520.
- Birgoren, B. (2025). *A New Rank Estimator for Least Squares Estimation of Weibull Modulus*. 38(1), 167–179. <https://doi.org/10.35378/gujs.1306771>
- Citilink. (2025). *Minimum Equipment List A320*. 343.
- Driyono, B. (2019). *Pengaruh Kemampuan dan Motivasi terhadap Prestasi Kerja Pegawai pada Unit Perawatan Pesawat Udara dalam Mendukung Praktik Latihan Terbang di STPI Curug Skill Influence and Motivation toward Employee s ' Job Performance in the Aircraft Maintenance Unit in The Supporting Flying Practices at STPI Curug*. 2(1), 159–169.

- Dwi Priyanta. (2000). *Keandalan dan Perawatan*.
- EASA. (2021). *SUBPART C — CONTINUING AIRWORTHINESS GM M. A. 305 Aircraft continuing airworthiness record system. 1321*, 1–11.
- Ebeling, C. E. (1997). *Reliability and Maintainability-Engineering*.
- F.K Suciati, E. S. (2019). *Evaluation and Improvement of Unscheduled Removal Component Reliability Calculation Method with No Fault Found (NFF) Shop Finding Results Evaluation and Improvement of Unscheduled Removal Component Reliability Calculation Method with No Fault Found (NF*.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/645/1/012007>
- Indonesia, K. P. (2006). *CASR PART OI*.
- Kinnison, H. a. (2004). *Aviation Maintenance Management. McGraw-Hill*, 72–75.
- Liu, E., & Liu, R. Y. (2023). *Applied Sciences Using the Weibull Accelerated Failure Time Regression Model to Predict Time to Health Events*.
- Megria, A. C. (1999). *Measurement of Thermal Comfort and Indoor Air Quality Aboard 43 Flights on Commercial Airlines*. 58–66.
- Mora, M. (2012). *Telaahan Literatur Tentang Program Perawatan Pesawat Udara Literature Review On Aircraft Maintenance Program*. 38(4), 356–372.
- Mulyani, S., & Priyahapsara, I. (2023). *Keandalan Komponen Nose Wheel Assy Pada Pesawat Cessna*. 4(2).
- Otaya, L. G. (2016). *View of Distribusi Probabilitas Weibull Dan Aplikasinya (Pada Persoalan Keandalan (Reliability) dan Analisis Rawatan (Mantainability)*.
<https://www.journal.iaingorontalo.ac.id/index.php/tjmpi/article/view/438/346>
- Park, J. P., & Bahn, C. B. (2016). *Uncertainty Evaluation of Weibull Estimators through Monte Carlo Simulation : Applications for Crack Initiation Testing*.

<https://doi.org/10.3390/ma9070521>

- Park, J. P., Park, C., Cho, J., & Bahn, C. B. (2017). *Effects of Cracking Test Conditions on Estimation Uncertainty for Weibull Parameters Considering Time-Dependent Censoring Interval*. <https://doi.org/10.3390/ma10010003>
- Prof. Dr. Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*.
- Rahmat Nurcahyo, Winda Sarmita, M. D. E. (2017). *Analisis Keandalan Komponen Sistem Proses Pendingin Sekunder*.
- Rahmawati, F. K., & Mulyani, S. (2020). *Reliability analysis of nose wheel assy ATR 72-500*. VI, 27–34.
- SAE Technical Paper. (2018). *Flow Control Valve With Integrated Electronics For Aircraft Applications*. 724, 4.
- Setiawan, F., Adiksa, E. C., Wicaksono, D., Anhar, M., Tinggi, S., Kedirgantaraan, T., Mesin, T., & Ketapang, P. N. (2023). *Maintenance Activity Planning For Fuel System Components on KT-1B Aircraft Using*. 3(2).
- Setiawan, F., Sofyan, E., & Muridha C. Putra, D. (2020). Analisis Reliability Sistem Starter Valve Untuk Merencanakan Aktivitas Maintenance Pada Pesawat Boeing 737 Next Generation Di Pt Gmf Aeroasia. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 6(2), 92–103. <https://doi.org/10.56521/teknika.v6i2.272>
- Shi, X. (2019). *A study on determining the maintenance task interval of the flight trainer aircraft system*. 1, 35–40. <https://doi.org/10.21595/mme.2019.20517>
- Sun, J., Wang, F., & Ning, S. (2020). *Aircraft Air Conditioning System Health State Estimation and Prediction for Predictive Maintenance*. 33, 947–955.
- Syahla, S. (2022). *Analisis Windshield Pesawat BOEING 737 - NG Terhadap Kegagalan Dengan Menggunakan Metode Failure Mode*. 8(2), 330–341.
- Taufik, H., Widoro, E., & Budi, N. (2025). *Analisis Keandalan Fuel Control Unit*

P / N 441921-5 Pada APU HONEYWEL GTCP131-9 (A) Pesawat Airbus 320 - 200 di PT Indonesia Air Asia. 4(4).

Undang Undang Penerbangan Nomor 1 Tahun 2009. (2009).

Verhagen, W. J. C., & Boer, L. W. M. De. (2018). Journal of Industrial Information Integration Predictive Maintenance for Aircraft Components Using Proportional Hazard Models. *Journal of Industrial Information Integration*, October 2017, 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.04.004>

Wijaya, D. S. (2025). *Analisis Keandalan Ignition Leads P / N 9043185-16 Pada Engine CFM56-3 Pesawat Boeing 737-300 di Asia Cargo Airlines.*

Yulasmana, Y., Raspati, B. G., Bandung, U. N., Maintenance, G., Aero, F., & History, P. (2026). *Reliability-Based Reassessment of Starter-Generator Preventive Maintenance Intervals on ATR 72-212A Aircraft Using Operational Removal Data. 70(2), 127–139.*
<https://doi.org/10.36842/jomase.v70i2.631>

LAMPIRAN

Lampiran A. Component Report PACK Flow Control Valve



UNSCHEDULED REMOVAL AIRBUS A320 PACK FLOW CONTROL VALVE P/N 1806D0000-01

NO	ATA	PART NUMBER	PART NAME	SERIAL NUMBER	A/C REGISTER	DATE REMOVAL	TSI	REASON
1	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-13272	PK-GTF	02/01/2020	6258	BOTH PACKS INOP USING APU BLEED. Action Taken:- REF AMM 21-61-00-710 001 DO OPERATIONAL TEST OF THE PACK TEMPERATURE CONTROL RESULT OF REF. TSM 21-61-00-810-803-1 FOR CONFIRMATION OF TROUBLE RESULT REPLACED LH PACK FLOW CONTROL VALVE. REF: 21-51-51/PB.401
2	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-11366	PK-GQM	27/01/2020	10703	MS. PK-GQM V/S FLUCTUATION D/T PACK 1 PN ON :1806B0000-

NO	ATA	PART NUMBER	PART NAME	SERIAL NUMBER	A/C REGISTER	DATE REMOVAL	TSI	REASON
								02:F1958 SN ON :1806B00LI003715 MATERIAL TAKEN FROM PK-GLY
3	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-12081	PK-GQP	15/04/2020	9736	PACK FAULT AND FLUCTUATED
4	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-09697	PK-GQC	21/01/2021	16801	PACK #1 FLOW CONTROL VALVE
5	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-09970	PK-GQF	07/05/2021	16196	fcv # 1 fault pn on :1806D0000-01:F1958 sn on :1806-06893
6	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-12479	PK-GQT	30/05/2021	11839	REMOVED PACK FLOW CONTROL VALVE D/T STUCK CLOSED REF TECHLOG TQT290565H1
7	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-11650	PK-GQN	31/07/2021	13604	PACK 2 FAULT

NO	ATA	PART NUMBER	PART NAME	SERIAL NUMBER	A/C REGISTER	DATE REMOVAL	TSI	REASON
8	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-11640	PK-GQM	31/07/2021	13404	PACK 2 FAULT
9	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-12754	PK-GTD	07/08/2021	10659	REF OEDER 804096788 REPLACE FCV D/T STUCK OPEN SN ON : 1806-11640
10	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-12037	PK-GQQ	09/10/2021	12802	PK-GQQ SN IN: 1806B00LI001999 REF HIL AML SEQ 49, AIR PACK 1 REGULT FAULT
11	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-11834	PK-GQO	16/01/2022	14290	REPLACE VALVE ASSY, FLOW CONTROL D/T ABNORMAL CABIN PRESS ON FLIGHT SN ON : 1806-11625
12	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-11852	PK-GQS	16/01/2022	14290	REPLACE VALVE ASSY, FLOW CONTROL D/T ABNORMAL CABIN PRESS ON FLIGHT SN ON : 1806-11971
13	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-09987	PK-GQG	27/04/2022	17978	REPLACE FCV#2 DUE TO BAD PN IN : 1806D0000-

NO	ATA	PART NUMBER	PART NAME	SERIAL NUMBER	A/C REGISTER	DATE REMOVAL	TSI	REASON
								01:F1958 SN IN : 1806-10718
14	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-09925	PK-GQG	07/06/2022	18303	HIL AIR PACK #1 REGUL FAULT REPLACE VALVE ASSY, FLOW CONTROL SN ON: 1806-09787
15	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-09874	PK-GQE	20/09/2022	20543	REF HIL SEQ 97 PACK NO.1 INOP
16	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-10276	PK-GLQ	15/10/2022	928	MS : PK-GLQ HIL AIR PACK 1 REGUL FAULT REPLACE VALVE ASSY, FLOW CONTROL PN ON: 1806B0000-02:F1958 SN ON: 1806B00LI004000
17	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-09819	PK-GQD	23/02/2023	21205	REF HIL PACK #1 REGULT FAULT SN ON : 1806-15795
18	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-10160	PK-GQH	03/03/2023	21501	REPLACE PACK FLOW CONTROL VALVE D/T PACK #2 REGULT FAULT SN IN : 1806-12430

NO	ATA	PART NUMBER	PART NAME	SERIAL NUMBER	A/C REGISTER	DATE REMOVAL	TSI	REASON
19	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-09976	PK-GQF	23/10/2023	22744	PACK #2 REGUL FAULT
20	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-12398	PK-GQS	28/11/2023	17944	REPLACE FLOW CONTROL VALVE D/T D/T PACK #1 REGUL FAULT SN IN : 1806-11069
21	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-10361	PK-GQJ	20/12/2023	19887	REF MSAO ORDER NO. 804982617, REPETITIVE PACK #2 REGUL FAULT SN IN: 1806-14232
22	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-12816	PK-GQC	05/02/2024	1568	PACK#1 REGULT FAULT D/T FCV PROBLEM
23	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-10873	PK-GQL	11/02/2024	15396	REPLACE OF FLOW CONTROL VALVE D/T PACK #2 REGUL FAULT SN IN : 1806-06024
24	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-09886	PK-GQE	12/02/2024	24506	MDR: HIL PACK 2 STUCK CLOSED FCV REMAIN CLOSE REPLACE VALVE ASSY,

NO	ATA	PART NUMBER	PART NAME	SERIAL NUMBER	A/C REGISTER	DATE REMOVAL	TSI	REASON
								FLOW CONTROL PN ON: 1806B0000-02 SN ON: 1806-06314
25	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-10541	PK-GQK	06/03/2024	18949	REF ORDER 805071175 REPLACED VALVE ASSY, FLOW CONTROL D/T AIRPACK #2 REGUL FAULT SN IN : 1806- 05577
26	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-12084	PK-GQP	26/03/2024	19162	REF HIL SEQ 00 REPLACED VALVE ASSY, FLOW CONTROL D/T PACK #2 REGUL FAULT SN IN : 1806-09976
27	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-13966	PK-GTH	23/05/2024	12839	"REPETITIVE AIR PACK #2 REGUL PN ON: 1806D0000- 02:F1958 SN ON: 1806-18406"
28	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-10347	PK-GQJ	26/05/2024	21280	AIR PACK REGUL FAULT ON GROUND, INFLIGHT PACK 1

NO	ATA	PART NUMBER	PART NAME	SERIAL NUMBER	A/C REGISTER	DATE REMOVAL	TSI	REASON
								NORMAL SN IN: 1806-07399
29	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-10198	PK-GQI	23/07/2024	17966	REPLACE FLOW CTL UNIT PACK 1 D/T AIR PACK REGULT 1 FAULT SN IN : 1806-12848
30	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-10485	PK-GLP	28/08/2024	12971	REPLACED D/T REPETITIVE AIRCOND PACK#2 REGUL FAULT (EX PK-GLP)
31	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-11373	PK-GQM	16/09/2024	18543	PACK REGULT #2 FAULT REPLACE VALVE ASSY, FLOW CONTROL SN ON: 1806B00LI004199 PN ON: 1806B0000-02:F1958
32	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-13959	PK-GTH	25/09/2024	13841	REPLACE D/T PK-GTH AIR PACK 1 REGUL FAULT SN ON : 1806-13613

NO	ATA	PART NUMBER	PART NAME	SERIAL NUMBER	A/C REGISTER	DATE REMOVAL	TSI	REASON
33	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-15556	PK-GLT	08/10/2024	10796	REPETITIVE COCKPIT AREA HOT SN IN: 1806-17727
34	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-12817	PK-GQU	10/02/2025	17166	air pack 2 regult fault sn on : 1806-31993
35	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-14244	PK-GTG	06/03/2025	15438	PART EX PK-GTG SEND TO SHOP DUE TO FAULT REFF 805427726
36	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-10480	PK-GLT	15/05/2025	24194	AIR PACK 1 2 FAULT
37	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-13285	PK-GQN	19/07/2025	8518	PACK 2 REGUL SN ON: 1806-09830
38	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-12541	PK-GTK	13/07/2025	13963	"PACK 1 REGUL FAULT & VALVE NOT OPEN PN ON: 1806D0000-02:F1958 SN ON: 1806-30354"
39	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-09830	PK-GQH	25/07/2025	6493	AIR PACK 2 REGUL FAULT

NO	ATA	PART NUMBER	PART NAME	SERIAL NUMBER	A/C REGISTER	DATE REMOVAL	TSI	REASON
40	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-09722	PK-GQA	26/09/2025	29774	REPLACE """"VALVE ASSY, FLOW CONTROL"""" D/T AIR PACK REGUL FAULT SN IN : 1806-11593
41	21	1806D0000-01	VALVE ASSY, FLOW CONTROL	1806-12415	PK-GQS	30/10/2025	24576	REPLACE D/T AIR PACK 2 REGULT FAULT SN ON : 1806- 10910

Denpasar, 20 Agustus 2026
Engineering,



AGUS ARI YULIAWANTO

Lampiran B Maintenance Discrepancy and Rectification

MAINTENANCE DISCREPANCY AND RECTIFICATION								
SEQUENCE NO.: 0000		COPY COUNT: 0001						
MS: PK-GQH HIL PACK 2 FLOW VALVE CLOSED. AIR PACK 2 REGUL FAULT.								
PM/PS:		PK-GQH						
WORK PACKAGE NO : N/A WORK CENTER / PLANT :: N/A RAISED BY : Mr Andri Wibowo		ORDER : 805674046 ORIGINATING ORDER: N/A DEFECT RAISE DATE: 24.07.2025						
JOB DESCRIPTION	MECH	INSP						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>OPS. NO.</th> <th>DISCREPANCIES FOUND DURING INSPECTION(Use reverse side if necessary):</th> <th>Insp</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>NIL</td> <td> A9933 25.07.25 </td> </tr> </tbody> </table>			OPS. NO.	DISCREPANCIES FOUND DURING INSPECTION(Use reverse side if necessary):	Insp		NIL	A9933 25.07.25
OPS. NO.	DISCREPANCIES FOUND DURING INSPECTION(Use reverse side if necessary):	Insp						
	NIL	A9933 25.07.25						
FORM GMF/Q-003 R9								
1 OF 4								

MAINTENANCE DISCREPANCY AND RECTIFICATION

SEQUENCE NO.: 0000

COPY COUNT: 0001

MS: PK-GQH HIL PACK 2 FLOW VALVE CLOSED. AIR PACK 2 REGUL FAULT.		
PM/PS:		
PK-GQH		
JOB DESCRIPTION	MECH	INSP
0010 DPS1F1ZZ MS: PK-GQH HIL PACK 2 FLOW VALVE CLOSED. AIR PACK 2 REGUL FAULT. REF HIL SEQ 01 LAST FOLLOW ON : > REF MSAO 805561213 > CHECK PREV LEGS REPORT, FOUND MESSAGE "P2 FLOW CONT VALVE (24HB)" > REF TSM 21-51-00-810-804-A DO BITE TEST OF PACK TEMP CTL SYS RESULT OK REF AMM 21-51-00-710-001-A > DO OPS TEST OF FLOW CTL & IND SYS RESULT "P2 FLOW VALVES CLOSED" REF AMM 21-51-00-710-002-A > AS PER TSM, NEED TO REPLACED P2 FCV (24HB) PN : 1806D0000-01 NEXT ACTION : PLEASE DO REPLACEMENT PACK 2 FLOW CTL UNIT-PACK 2 (24HB): > DO REMOVAL OF THE PACK FLOW-CONTROL VALVE/PACK FLOW-CONTROL UNIT REF AMM TASK 21-51-51-000-001-A > DO INSTALLATION OF THE PACK FLOW-CONTROL VALVE/PACK FLOWCONTROL UNIT REF AMM TASK 21-51-51-400-001-A > DO THE OPERATIONAL TEST OF THE FLOW CONTROL AND INDICATING SYSTEM REF. AMM TASK 21-51-00-710-002. PART INFO : -FCV 2 (24HB) P/N : 1806D0000-01 STS RIC/QI -SEAL (2EA) P/N : ABS1040-64 AVAIL GADC RESULT : REPAIRED PACK FLOW CONTROL U/V PERFORMED. DO OPT OF THE FLOW CONTROL & IND STS RESULT GOOD.	X	1.A9933 25.07.25

OPS. No.	DISCREPANCIES FOUND DURING INSPECTION(Use reverse side if necessary):	Insp
0010	NIL	1.A9933 25.07.25

MAINTENANCE DISCREPANCY AND RECTIFICATION

SEQUENCE NO.: 0000

COPY COUNT: 0001

MS: PK-GQH HIL PACK 2 FLOW VALVE CLOSED. AIR PACK 2 REGUL FAULT.			
PW/PS:			PK-GQH
ORDER : 805674046  WORK PACKAGE NO : N/A WORK CENTER / PLANT :: N/A ORIGINATING ORDER: N/A RAISED BY : Mr Andri Wibowo DEFECT RAISE DATE: 24.07.2025			
COMPONENT PART NUMBER	SERIAL NUMBER OFF	SERIAL NUMBER ON	QTY
1806D0000-02 1806D0000-01	1806-09830	1806-90522	1
MATERIAL REQUIREMENT ABS1040-64 HMM QTY UOM BATCH NO. USED 1806D0000-01:F1958 ***VALVE ASSY, FLOW CONTROL*** 1.00 EA _____ ABS1040-64:FAPE3 SEAL 2.00 EA _____			
TOOLS REQUIREMENT	TOOL REGISTER	QTY	UOM

OPS. No.	DISCREPANCIES FOUND DURING INSPECTION(Use reverse side if necessary):	Insp
111	NIL	  25.07.25
CARD CLEARANCE	Accomplishment date	Supervisor Sign
	25.07.25	

FORM GMF/A-001 89

4 OF 4

Lampiran C Proses Replacement Komponen *PACK Flow Control Valve*



Lampiran D Komponen PACK Flow Control Valve PK-GQH





Lampiran E Perhitungan Weibull

NO	TTF	RANK	REVERSE RANK	ADJUSTED RANK	i-0,3	MEDIAN RANK	X	Y	X*Y	X^2	Y^2
1	928	1	41	1	0,7	0,016908213	-4,071442	6,8330317	-27,82029	16,576636	46,690323
2	1568	2	40	2	1,7	0,041062802	-3,171761	7,3575562	-23,33641	10,060068	54,133633
3	6258	3	39	3	2,7	0,065217391	-2,696498	8,7416159	-23,57175	7,2711013	76,415849
4	6493	4	38	4	3,7	0,089371981	-2,368503	8,77848	-20,79185	5,6098057	77,06171
5	8518	5	37	5	4,7	0,11352657	-2,116071	9,0499369	-19,15031	4,4777577	81,901357
6	9736	6	36	6	5,7	0,137681159	-1,909664	9,1835856	-17,53756	3,6468155	84,338245
7	10659	7	35	7	6,7	0,161835749	-1,734201	9,2741599	-16,08326	3,0074532	86,010042
8	10703	8	34	8	7,7	0,185990338	-1,580933	9,2782794	-14,66834	2,4993487	86,086468
9	10796	9	33	9	8,7	0,210144928	-1,444323	9,286931	-13,41333	2,086068	86,247087
10	11839	10	32	10	9,7	0,234299517	-1,320641	9,3791544	-12,38649	1,7440919	87,968538
11	12802	11	31	11	10,7	0,258454106	-1,207251	9,4573567	-11,4174	1,4574544	89,441596
12	12839	12	30	12	11,7	0,282608696	-1,102217	9,4602427	-10,42724	1,2148829	89,496192
13	12971	13	29	13	12,7	0,306763285	-1,004074	9,4704714	-9,509054	1,0081645	89,689828
14	13404	14	28	14	13,7	0,330917874	-0,91168	9,5033084	-8,663978	0,8311608	90,312871
15	13604	15	27	15	14,7	0,355072464	-0,824128	9,5181191	-7,844148	0,6791869	90,594592
16	13841	16	26	16	15,7	0,379227053	-0,740679	9,5353905	-7,062667	0,5486059	90,923672
17	13963	17	25	17	16,7	0,403381643	-0,660723	9,5441663	-6,306053	0,4365553	91,091109
18	14290	18	24	18	17,7	0,427536232	-0,583744	9,5673153	-5,584866	0,3407575	91,533521
19	14690	19	23	19	18,7	0,451690821	-0,5093	9,5949223	-4,886696	0,2593867	92,062533
20	15396	20	22	20	19,7	0,475845411	-0,437004	9,641863	-4,213536	0,1909728	92,965522
21	15438	21	21	21	20,7	0,5	-0,366513	9,6445873	-3,534866	0,1343317	93,018064
22	16196	22	20	22	21,7	0,524154589	-0,297514	9,6925196	-2,883659	0,0885145	93,944936
23	16801	23	19	23	22,7	0,548309179	-0,229718	9,7291937	-2,234975	0,0527706	94,65721
24	17166	24	18	24	23,7	0,572463768	-0,162853	9,750686	-1,587927	0,026521	95,075877
25	17944	25	17	25	24,7	0,596618357	-0,096652	9,7950111	-0,946704	0,0093416	95,942242
26	17966	26	16	26	25,7	0,620772947	-0,030851	9,7962364	-0,302222	0,0009518	95,966247
27	17978	27	15	27	26,7	0,644927536	0,0348201	9,7969041	0,3411289	0,0012124	95,979329

28	18303	28	14	28	27,7	0,669082126	0,100646	9,8148203	0,987822	0,0101296	96,330697
29	18543	29	13	29	28,7	0,693236715	0,1669362	9,8278476	1,6406237	0,0278677	96,586589
30	18949	30	12	30	29,7	0,717391304	0,2340376	9,8495064	2,3051551	0,0547736	97,012777
31	19162	31	11	31	30,7	0,741545894	0,3023518	9,8606844	2,9813957	0,0914166	97,233097
32	19887	32	10	32	31,7	0,765700483	0,3723598	9,8978215	3,6855507	0,1386518	97,966871
33	20543	33	9	33	32,7	0,789855072	0,4446588	9,9302755	4,4155844	0,1977215	98,610372
34	21205	34	8	34	33,7	0,814009662	0,5200196	9,9619923	5,1804309	0,2704203	99,24129
35	21280	35	7	35	34,7	0,838164251	0,599481	9,9655229	5,9741416	0,3593775	99,311648
36	21501	36	6	36	35,7	0,862318841	0,6845174	9,9758547	6,8286462	0,4685641	99,517677
37	22744	37	5	37	36,7	0,88647343	0,7773589	10,032057	7,7985085	0,6042869	100,64216
38	24194	38	4	38	37,7	0,910628019	0,8816778	10,09386	8,899532	0,7773557	101,88601
39	24506	39	3	39	38,7	0,934782609	1,0043123	10,106673	10,150256	1,0086431	102,14484
40	24576	40	2	40	39,7	0,958937198	1,1608521	10,109526	11,735664	1,3475776	102,20251
41	29774	41	1	41	40,7	0,983091787	1,4060862	10,301391	14,484643	1,9770783	106,11865
TOTAL	639954	861	861	861	848,7	20,5	-22,8888	390,3889	-188,757	71,59378	3734,354

Lampiran F Perhitungan Reliability, Failure Rate, dan CDF

β	η	TIME	R(t)	%	$\lambda(t)$	%	CDF	%
2,015375676	18009,9896	500	0,999270842	100%	0,000002940	0,0003%	0,000729158	0,07%
2,015375676	18009,9896	1000	0,997055385	100%	0,000005943	0,0006%	0,002944615	0,29%
2,015375676	18009,9896	1500	0,993345587	99%	0,000008971	0,0009%	0,006654413	0,67%
2,015375676	18009,9896	2000	0,988148565	99%	0,000012014	0,0012%	0,011851435	1,19%
2,015375676	18009,9896	2500	0,981481124	98%	0,000015069	0,0015%	0,018518876	1,85%
2,015375676	18009,9896	3000	0,97336829	97%	0,000018134	0,0018%	0,02663171	2,66%
2,015375676	18009,9896	3500	0,96384255	96%	0,000021206	0,0021%	0,03615745	3,62%
2,015375676	18009,9896	4000	0,952943314	95%	0,000024285	0,0024%	0,047056686	4,71%
2,015375676	18009,9896	4500	0,940716441	94%	0,000027370	0,0027%	0,059283559	5,93%
2,015375676	18009,9896	5000	0,927213786	93%	0,000030461	0,0030%	0,072786214	7,28%
2,015375676	18009,9896	5500	0,912492735	91%	0,000033556	0,0034%	0,087507265	8,75%
2,015375676	18009,9896	6000	0,89661573	90%	0,000036656	0,0037%	0,10338427	10,34%
2,015375676	18009,9896	6500	0,879649771	88%	0,000039759	0,0040%	0,120350229	12,04%
2,015375676	18009,9896	7000	0,861665898	86%	0,000042866	0,0043%	0,138334102	13,83%
2,015375676	18009,9896	7500	0,842738662	84%	0,000045977	0,0046%	0,157261338	15,73%
2,015375676	18009,9896	8000	0,822945579	82%	0,000049091	0,0049%	0,177054421	17,71%
2,015375676	18009,9896	8500	0,802366573	80%	0,000052208	0,0052%	0,197633427	19,76%
2,015375676	18009,9896	9000	0,781083423	78%	0,000055327	0,0055%	0,218916577	21,89%
2,015375676	18009,9896	9500	0,759179199	76%	0,000058450	0,0058%	0,240820801	24,08%
2,015375676	18009,9896	10000	0,736737714	74%	0,000061574	0,0062%	0,263262286	26,33%
2,015375676	18009,9896	10500	0,713842977	71%	0,000064702	0,0065%	0,286157023	28,62%
2,015375676	18009,9896	11000	0,690578666	69%	0,000067831	0,0068%	0,309421334	30,94%
2,015375676	18009,9896	11500	0,667027617	67%	0,000070963	0,0071%	0,332972383	33,30%
2,015375676	18009,9896	12000	0,643271336	64%	0,000074097	0,0074%	0,356728664	35,67%
2,015375676	18009,9896	12500	0,619389536	62%	0,000077233	0,0077%	0,380610464	38,06%
2,015375676	18009,9896	13000	0,595459711	60%	0,000080370	0,0080%	0,404540289	40,45%
2,015375676	18009,9896	13500	0,57155673	57%	0,000083510	0,0084%	0,42844327	42,84%
2,015375676	18009,9896	14000	0,547752477	55%	0,000086651	0,0087%	0,452247523	45,22%
2,015375676	18009,9896	14500	0,524115522	52%	0,000089794	0,0090%	0,475884478	47,59%

2,015375676	18009,9896	15000	0,500710837	50%	0,000092939	0,0093%	0,499289163	49,93%
2,015375676	18009,9896	15500	0,477599541	48%	0,000096086	0,0096%	0,522400459	52,24%
2,015375676	18009,9896	15958	0,456735798	46%	0,000098969	0,0099%	0,543264202	54,33%
2,015375676	18009,9896	16000	0,454838697	45%	0,000099234	0,0099%	0,545161303	54,52%
2,015375676	18009,9896	16500	0,432481142	43%	0,000102383	0,0102%	0,567518858	56,75%
2,015375676	18009,9896	17000	0,41057536	41%	0,000105534	0,0106%	0,58942464	58,94%
2,015375676	18009,9896	17500	0,389165394	39%	0,000108686	0,0109%	0,610834606	61,08%
2,015375676	18009,9896	18000	0,368290796	37%	0,000111840	0,0112%	0,631709204	63,17%
2,015375676	18009,9896	18500	0,347986615	35%	0,000114995	0,0115%	0,652013385	65,20%
2,015375676	18009,9896	19000	0,32828342	33%	0,000118152	0,0118%	0,67171658	67,17%
2,015375676	18009,9896	19500	0,309207351	31%	0,000121309	0,0121%	0,690792649	69,08%
2,015375676	18009,9896	20000	0,290780214	29%	0,000124468	0,0124%	0,709219786	70,92%
2,015375676	18009,9896	20500	0,273019587	27%	0,000127629	0,0128%	0,726980413	72,70%
2,015375676	18009,9896	21000	0,255938966	26%	0,000130790	0,0131%	0,744061034	74,41%
2,015375676	18009,9896	21500	0,239547925	24%	0,000133952	0,0134%	0,760452075	76,05%
2,015375676	18009,9896	22000	0,223852302	22%	0,000137116	0,0137%	0,776147698	77,61%
2,015375676	18009,9896	22500	0,208854396	21%	0,000140281	0,0140%	0,791145604	79,11%
2,015375676	18009,9896	23000	0,194553186	19%	0,000143447	0,0143%	0,805446814	80,54%
2,015375676	18009,9896	23500	0,180944551	18%	0,000146613	0,0147%	0,819055449	81,91%
2,015375676	18009,9896	24000	0,168021508	17%	0,000149781	0,0150%	0,831978492	83,20%

Lampiran G Minimum Equipment List PACK FCV

 A320 MINIMUM EQUIPMENT LIST	MEL ITEMS 21 - AIR CONDITIONING 21-51 - Pack Flow Control
21-51-02	Pack Flow Selection
Ident.: M-21-51-00007500.0001001 / 22 MAR 10 Applicable to: ALL	

21-51-02A

Repair interval	Nbr installed	Nbr required	Placard
C	1	0	Yes

May be inoperative.

 A320 MINIMUM EQUIPMENT LIST	MEL ITEMS 21 - AIR CONDITIONING 21-52 - Air Cooling System
21-52-01	Air Conditioning Pack
Ident.: M-21-52-00007502.00010001 / 17 NOV 20 Applicable to: ALL	

21-52-01D With speedbrakes available for 'C' repair interval

Repair interval	Nbr installed	Nbr required	Placard
C	2	1	Yes

(o)(m) One may be inoperative provided that:

- 1) ETOPS is not concluded, and
- 2) The following alerts:
AIR PACK 1(2) REGUL FAULT
AIR COND CTL 1(2)-A FAULT
AIR COND CTL 1(2)-B FAULT
associated with the operative pack are not displayed on the EWD, and
- 3) The affected PACK 1(2) pb-sw is set to OFF, and
- 4) The speedbrakes are operative, and
- 5) The associated pack flow control valve is secured in the closed position.

Reference(s)

(o) Refer to OpsProc 21-52-01D Air Conditioning Pack (One Air Conditioning Pack Inoperative for 'C' Repair Interval)

(m) Refer to AMM Task 21-51-00-040-002

21-52-01E Limitation to 31 500 ft for 'C' repair interval

Repair interval	Nbr installed	Nbr required	Placard
C	2	1	Yes

(o)(m) One may be inoperative provided that:

- 1) ETOPS is not concluded, and
- 2) The flight altitude is limited to 31 500 ft (9 600 m), and
- 3) The following alerts:
AIR PACK 1(2) REGUL FAULT
AIR COND CTL 1(2)-A FAULT
AIR COND CTL 1(2)-B FAULT
associated with the operative pack are not displayed on the EWD, and
- 4) The affected PACK 1(2) pb-sw is set to OFF, and
- 5) The associated pack flow control valve is secured in the closed position.

Continued on the following page

Lampiran H Maintenance Planning Citilink Airbus A320



7. Maintenance Program A320 3611

MP ITEM NUMBER	MP-ITEM TITLE TASK DESCRIPTION	TASK CODE	A/C EFF/ ENG. EFF.	INTERVAL NUM-DM	SIGN.CODE- REF.NUM.	CAT	RV CD	MAN HOURS	EFFECT DATE
3611A12001	IP BLEED CHECK VALVE CHECK OF IP BLEED CHECK VALVE FOR CONDITION. AMTOSS 3611A1-200-001 ZONE : 453 463 ACCESS : 437AL 451AL 447AL 461AL	DET	PK-GLG PK-GLI PK-GLK PK-GLL PK-GLM PK-GLN PK-GLO PK-GLP PK-GLQ PK-GLR PK-GLS PK-GLT PK-GLU PK-GLV PK-GLW PK-GLX PK-GLY PK-GLZ PK-GQA PK-GQD PK-GQE PK-GQF PK-GQG PK-GQH PK-GQI PK-GQJ PK-GQK PK-GQL PK-GQM PK-GQN PK-GQO PK-GQP PK-GQQ PK-GQR PK-GQS PK-GQT PK-GQU	OY/500 FH 0772 M	MPD 36111-03-1 MRB 36.11.0004 LUR	6		0.66	20 JUN 2019

MAINTENANCE PROGRAM A320

DATE : 5 DECEMBER 2024
ISSUE - REV : 02-02

MP A320
PAGE 2 OF 6



7. Maintenance Program A320
2150

MP ITEM NUMBER	MP-ITEM TITLE TASK DESCRIPTION	TASK CODE	A/C EFF / ENG. EFF.	INTERVAL NUM-DIM	SIGN.CODE- REF.NUM.	CAT	RV CD	MAN HOURS	EFFECT DATE
21 50 2150000001	AIR COOLING AND TEMPERATURE CONTROL GENERAL VISUAL INSPECTION OF PACK AIR SUPPLY DUCTS, CLAMPS AND BELLOWES (BETWEEN PACK OUTLET AND MIXER) AMTOSS 215200-210-802 ZONE : 137 138 ACCESS : 191CB 191DB	GVI	ALL	24000 FH	MPD 215000-09-1 MRB 21.50.0009	9	N	0.04	1 FEB 2026
2150000002	AIR COOLING AND TEMPERATURE CONTROL GENERAL VISUAL INSPECTION OF TRIM AIR DUCTS (BETWEEN FLOW CONTROL VALVE AND HOT AIR MANIFOLD) AMTOSS 215100-210-801 ZONE : 137 ACCESS : 191BB 191CB 191DB	GVI	ALL	24000 FH	MPD 215000-08-1 MRB 21.50.0008	9	N	0.14	1 FEB 2026

MAINTENANCE PROGRAM A320

DATE : 5 DECEMBER 2025
ISSUE - REV : 02-03

MP A320
PAGE 1 OF 1



7. Maintenance Program A320
3611

MP ITEM NUMBER	MP-ITEM TITLE TASK DESCRIPTION	TASK CODE	A/C EFF / ENG. EFF.	INTERVAL NUM-DIM	SIGN.CODE- REF.NUM.	CAT	RV CD	MAN HOURS	EFFECT DATE
3611412010	P BLEED CHECK VALVE CHECK OF P BLEED CHECK VALVE FOR CONDITION AMTOSS 361141-200-010 ZONE : 450 460 ACCESS : 437AL 451AL 447AL 461AL	DET	PK-GLE	O/12000 FH O/108 M	MPD 361141-04-1 MRB 36.11.02005 LUR	6		1.16	13 MAR 2022

MAINTENANCE PROGRAM A320

DATE : 5 DECEMBER 2024
ISSUE - REV : 02-02

MP A320
PAGE 3 OF 6

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



PUTU DIAH AYU YOGANTARI SUKABUMI, lahir di Denpasar pada tanggal 22 April 2004, merupakan anak pertama dari empat bersaudara dari Bapak Agus Gde Oka Wahyoga dan Ibu Ni Wayan Sutini. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD Saraswati 3 Denpasar pada tahun 2016. Selanjutnya, penulis menyelesaikan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Dwijendra Denpasar pada tahun 2019, dan pendidikan sekolah menengah kejuruan di SMK Penerbangan Cakra Nusantara pada tahun 2022. Pada tahun 2022, penulis diterima sebagai Taruna Politeknik Penerbangan Indonesia Curug pada Program Studi Diploma IV Teknik Pesawat Udara, Jurusan Teknik Penerbangan, Angkatan ke-17. Selama menjalani pendidikan, penulis mengikuti pelatihan Jungle and Sea Survival yang dibina oleh Direktorat Kepolisian Udara pada Maret 2023. Sebagai bagian dari proses pendidikan, penulis melaksanakan kegiatan On The Job Training (OJT) tahap pertama di FL Technic Indonesia selama enam bulan, yaitu pada Maret hingga Agustus 2025. Selanjutnya, penulis melaksanakan OJT tahap kedua di PT. GMF AeroAsia selama enam bulan, mulai September 2025 hingga Februari 2026.

10. FINAL NASKAH PUTU DIAH AYU YOGANTARI S fix.pdf

ORIGINALITY REPORT

11%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	e-jurnal.tni-au.mil.id Internet	249 words — 2%
2	www.scribd.com Internet	154 words — 1%
3	repository.ub.ac.id Internet	74 words — < 1%
4	www.wartaardhia.com Internet	73 words — < 1%
5	repository.its.ac.id Internet	70 words — < 1%
6	Dimas Saputra Wijaya. "ANALISIS KEANDALAN IGNITION LEADS P/N 9043185-16 PADA ENGINE CFM56-3 PESAWAT BOEING 737-300 DI PERUSAHAAN XYZ", Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 2025 Crossref	59 words — < 1%
7	repo.darmajaya.ac.id Internet	31 words — < 1%
8	Gayuh Lemadi, Fuad Faisal, Doddy Lombardo. "Penentuan Interval Preventive Maintenance PSD Seal pada Mesin Portable Spot Welding Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance", RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 2026 Crossref	30 words — < 1%
9	dspace.uii.ac.id Internet	30 words — < 1%
10	www.prp.unicamp.br Internet	29 words — < 1%
11	repository.ppicurug.ac.id	



POLITEKNIK PENERBANGAN INDONESIA CURUG
PROGRAM STUDI D.IV TEKNIK PESAWAT UDARA
Jl. Raya PLP Curug Tangerang 15820 – Banten, Indonesia
Telp. : (021) 598-2203/04/05 Fax.: (021) 598-2234 www.ppicurug.ac.id

**LEMBAR PERSETUJUAN
MENGIKUTI UJIAN TUGAS AKHIR**

Yang bertanda tangan di bawah ini adalah pembimbing Tugas Akhir :

Nama Taruna : PUTU DIAH AYU YOGANTARI SUKABUMI
NIT : 16022230012
Program Studi : TEKNIK PESAWAT UDARA
Judul Tugas Akhir : ANALISIS KEGAGALAN DAN PREDIKSI DAN UMUR
PAKAI *FLOW CONTROL VALVE* AIRBUS A320
MENGUNAKAN DISTRIBUSI WEIBULL

Demikian surat persetujuan kami, atas kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Tangerang, 23 Juli 2026

Pembimbing I

Pembimbing II

Wahyu Cakra Nugraha, S.ST., M.T., MS.ASAA
Penata (III/c)
NIP. 198904212010121005

Dody Herdianto, S. Tr. T
Penata Muda (III/a)
NIP. 200112232023101003



SURAT KETERANGAN

NO : GMF/TBI-001/VII/2026

Yang Bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ariski Nugroho
Perusahaan : Garuda Maintenance Facility Aeroasia Tbk
Alamat : Bandara Soekarno Hatta Jl. GMF Aeroasia, RT.001/RW.010, Pajang,
Benda, Kota Tangerang.

Benar telah melaksanakan penelitian yang berjudul **ANALYSYS KEGAGALAN DAN PREDIKSI UMUR PAKAI FLOW CONTROL. VALVE AIRBUS 320 MENGGUNAKAN DISTRIBUTION WEIBULL** , selama periode Mei 2025 hingga Januari 2026 yang dilaksanakan oleh Taruni Putu Diah Ayu / 16022230012

Demikian Surat Keterangan ini agar dapat dipergunakan sebaik-baiknya dan sebagaimana mestinya, atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Cengkareng, 20 July 2026

Ariski Nugroho

Mentor for PPI Curug