

Analisis Kegagalan dan Prediksi Umur Pakai *Flow Control Valve* Airbus A320 Menggunakan Distribusi Weibull

Putu Diah Ayu Yogantari Sukabumi¹ Wahyu Cakra Nugraha² Dody Herdianto³

Program Studi Diploma IV Teknik Pesawat Udara, Jurusan Teknik Penerbangan, Politeknik

Penerbangan Indonesia Curug, Tangerang, Banten, Indonesia^{1,2,3}

Email: yogantaridiah@gmail.com¹ wahyu.cakra@ppicurug.ac.id²

dody.herdianto@ppicurug.ac.id³

Abstrak

PACK Flow Control Valve (FCV) merupakan komponen utama sistem Air Conditioning PACK pesawat Airbus A320 yang mengatur aliran bleed air bertekanan dan bertemperatur tinggi sebelum udara diproses dan didistribusikan ke kabin. Data internal PT GMF AeroAsia mencatat 41 kejadian unscheduled removal komponen FCV P/N 1806D0000-01 sepanjang periode 2020–2025, sehingga menimbulkan peningkatan beban perawatan, penurunan redundansi Environmental Control System, dan potensi gangguan dispatch reliability. Kondisi tersebut belum didukung oleh analisis keandalan berbasis data time to failure, sehingga penentuan waktu pemeriksaan komponen masih bersifat korektif. Penelitian ini bertujuan menentukan karakteristik kegagalan, Mean Time to Failure (MTTF), tingkat reliability, Cumulative Distribution Function (CDF), failure rate, prediksi umur pakai, serta usulan interval preventive maintenance pada komponen tersebut. Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan Distribusi Weibull dua parameter, yaitu shape parameter (β) dan scale parameter (η). Metode ini dipilih karena mampu memodelkan berbagai pola kegagalan komponen sekaligus menghasilkan estimasi parameter keandalan pada data kegagalan berukuran terbatas. Nilai Time Since Installation digunakan sebagai Time to Failure dengan rentang 928 FH hingga 29.774 FH dan rata-rata 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. Hasil analisis menghasilkan β sebesar 2,015375676 dan η sebesar 18.009,99 FH dengan koefisien determinasi 0,8421, sehingga komponen berada pada fase wear-out. Nilai MTTF diperoleh sebesar 15.958,83 FH dengan reliability 45,67%, CDF 54,33%, dan failure rate 0,00009897 kegagalan per FH. Analisis B-Life menghasilkan B10 sebesar 5.896,31 FH, B20 sebesar 8.556,39 FH, dan B30 sebesar 10.798,36 FH. Berdasarkan acuan reliability 70%, penelitian menyimpulkan bahwa MTTF tidak tepat digunakan langsung sebagai batas penggantian dan merekomendasikan functional atau operational check pada kisaran 10.800 FH, monitoring awal pada 5.800–6.000 FH, serta evaluasi penggantian terencana sebelum 15.500 FH. Penelitian lanjutan disarankan mengintegrasikan Failure Mode and Effect Analysis, Root Cause Analysis, dan optimasi biaya perawatan.

Kata Kunci: Airbus A320, B-Life, Distribusi Weibull, Flow Control Valve, Keandalan, Mean Time to Failure, Preventive Maintenance



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Kelaikudaraan merupakan persyaratan fundamental dalam operasi penerbangan yang menjamin pesawat udara dapat dioperasikan secara aman sesuai standar regulasi yang berlaku, sebagaimana diamanatkan Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2009 Pasal 34 ayat (1) dan Civil Aviation Safety Regulation Part 1 yang menetapkan perawatan sebagai rangkaian tugas untuk memastikan kelaikudaraan berkelanjutan (Indonesia, 2006). Salah satu sistem kritis yang menopang kelaikudaraan tersebut adalah sistem Air Conditioning dan Pressurization, yang pada pesawat Airbus A320 bertumpu pada PACK Flow Control Valve (FCV) sebagai pengatur aliran bleed air bertekanan dan bertemperatur tinggi menuju air conditioning PACK. Data internal PT GMF AeroAsia mencatat 41 kejadian unscheduled removal komponen

FCV P/N 1806D0000-01 sepanjang 2020–2025, sedangkan ketentuan Minimum Equipment List Airbus A320 menempatkan komponen ini pada kategori C dengan batas toleransi sepuluh hari sebelum pesawat dinyatakan grounded (Citilink, 2025), sehingga frekuensi kegagalan tersebut berdampak langsung pada beban perawatan, redundansi Environmental Control System (ECS), dan dispatch reliability armada.

Analisis keandalan berbasis data kegagalan telah lama digunakan untuk menjawab persoalan sejenis. Distribusi Weibull dinilai efektif dalam perencanaan pemeliharaan karena fleksibilitas parameternya memungkinkan model menyesuaikan diri terhadap beragam pola kegagalan, bahkan menyerupai karakteristik distribusi probabilitas lain (Otaya, 2016; Abernethy, 2015). Sejumlah penelitian dalam sepuluh tahun terakhir menerapkan pendekatan ini pada komponen pesawat udara. Rahmawati dan Mulyani (2020) memperoleh β sebesar 3,810 dan MTTF 454 jam pada nose wheel assy ATR 72-500 serta menunjukkan penurunan reliability seiring waktu operasi. Amri (2022) mengombinasikan Distribusi Weibull dengan Reliability Centered Maintenance untuk menghitung kebutuhan spare part High Pressure Shut-Off Valve Boeing 777-300ER, sedangkan Syahla (2022) memadukan analisis Weibull dan Failure Mode and Effect Analysis pada windshield Boeing 737-NG dan memperoleh reliability 70% pada 8.600 jam operasi. Analisisristianti (2024) dan Wijaya (2025) menerapkan pendekatan serupa berturut-turut pada fuel nozzle Airbus A320 NEO dan ignition leads engine CFM56-3, sementara Taufik et al. (2025) memperoleh β sebesar 1,338 dan MTTF 5.820 jam dengan reliability 40,97% pada Fuel Control Unit APU Honeywell GTCP131-9(A).

Pada tataran internasional, pemodelan keandalan komponen pesawat juga berkembang ke arah prediktif. Verhagen dan De Boer (2018) menggunakan proportional hazard model untuk predictive maintenance komponen pesawat, Shi (2019) mengkaji penentuan interval maintenance task pada sistem pesawat latih, dan Sun et al. (2020) mengestimasi health state sistem air conditioning pesawat untuk keperluan predictive maintenance. Yulasmana et al. (2026) menegaskan relevansi data operasional dengan melakukan reassessment interval preventive maintenance starter-generator ATR 72-212A berbasis operational removal data, sedangkan Suciati dan Sofyan (2019) menunjukkan bahwa perhitungan reliability komponen unscheduled removal perlu memperhatikan kualitas shop finding agar umur komponen saat removal dapat digunakan sebagai dasar data kegagalan yang sah.

Rujukan-rujukan tersebut memperlihatkan adanya kesenjangan yang jelas. Pertama, objek kajian keandalan berbasis Weibull pada literatur nasional masih terkonsentrasi pada sistem utama seperti powerplant, landing gear, dan APU, sementara komponen ECS — khususnya PACK Flow Control Valve Airbus A320 — belum dikaji secara spesifik. Kedua, sebagian besar penelitian terdahulu berhenti pada perolehan nilai MTTF sebagai indikator umur pakai, padahal pada titik MTTF probabilitas kegagalan kumulatif komponen ber- β lebih besar dari satu telah melampaui 50%, sehingga MTTF kurang tepat dipakai langsung sebagai interval perawatan. Ketiga, hasil analisis keandalan jarang dihadapkan secara eksplisit pada Maintenance Program yang berlaku, sehingga rekomendasi yang dihasilkan sulit diterjemahkan menjadi scheduled task oleh operator. Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan menerapkan Distribusi Weibull dua parameter pada komponen PACK Flow Control Valve P/N 1806D0000-01 menggunakan 41 data unscheduled removal aktual, memakai pendekatan B-Life dengan acuan reliability 70% sebagai basis penentuan interval, serta membandingkan hasilnya secara langsung terhadap task dan phase check dalam Maintenance Program Airbus A320-200.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk (1) menghitung nilai Mean Time to Failure komponen PACK Flow Control Valve P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320 di PT GMF AeroAsia; (2) menentukan tingkat reliability dan Cumulative Distribution

Function komponen tersebut; (3) menghitung failure rate serta mengidentifikasi fase kegagalan komponen; dan (4) menentukan prediksi umur pakai optimal beserta usulan interval preventive maintenance berdasarkan analisis Distribusi Weibull.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	Rahmawati & Mulyani (2020)	Reliability Analysis of Nose Wheel Assy ATR 72-500	Menentukan nilai keandalan, karakteristik kegagalan, dan MTTF nose wheel assy	Kuantitatif; Distribusi Weibull, regresi linier, Mann's test	$\beta = 3,810$ (early wear-out); $\eta \approx 502$ jam; MTTF = 454 jam; reliability menurun seiring waktu	Menjadi rujukan penggunaan Time Since Installation sebagai failure time dan konfirmasi pola wear-out pada komponen pesawat
2	Amri (2022)	Analisis Keandalan High Pressure Shut-Off Valve Boeing 777-300ER	Menentukan keandalan, MTTF, dan kebutuhan spare part HPSOV	Kuantitatif; uji pneumatic regulation, regresi linier, Distribusi Weibull, RCM	Diperoleh parameter Weibull (β, η), reliability function, MTTF, dan perhitungan kebutuhan spare part	Menunjukkan penerapan Weibull pada komponen valve sistem pneumatic, sekelompok dengan objek penelitian ini
3	Syahla (2022)	Analisis Kegagalan Windshield Boeing 737-NG dengan Metode Failure Mode	Mengidentifikasi mode kegagalan, menentukan keandalan, dan merencanakan preventive maintenance	Kuantitatif (Weibull) dipadukan kualitatif (FMEA, Risk Priority Number)	Reliability 70% pada 8.600 jam; failure rate 0,000110283 menunjukkan fase wear-out; RPN delamination 60, crack 144, arching 96	Menguatkan pemakaian ambang reliability 70% sebagai titik evaluasi perawatan komponen
4	Analisristianti (2024)	Analisis Keandalan Fuel Nozzle Airbus A320 NEO Menggunakan Distribusi Weibull dan FMEA	Menentukan nilai keandalan fuel nozzle dan interval perawatannya	Kuantitatif; Weibull analysis dan failure data processing	Diperoleh nilai reliability, failure rate, dan MTTF beserta rekomendasi jadwal perawatan	Menunjukkan alur pengolahan failure data yang sebanding untuk komponen Airbus A320
5	Wijaya (2025)	Analisis Keandalan Ignition Leads P/N 9043185-16 Engine CFM56-3 Boeing 737-300	Menentukan keandalan, MTTF, laju kegagalan, dan jadwal perawatan ignition leads	Kuantitatif; Distribusi Weibull, regresi linier, failure data analysis	Diperoleh nilai reliability, failure rate, dan MTTF beserta rekomendasi jadwal perawatan	Memberi pembandingan metodologis pada pengolahan data kegagalan komponen engine
6	Taufik et al. (2025)	Analisis Keandalan Fuel Control Unit P/N 441921-5 APU Honeywell GTCP131-9(A) Airbus A320-200	Menentukan parameter Weibull, MTTF, reliability, failure rate, dan jadwal perawatan FCU	Kuantitatif; Distribusi Weibull, regresi linier, analisis logbook data	$\beta = 1,338$ (wear-out); $\eta = 6.337$ jam; MTTF = 5.820 jam dengan reliability 40,97%; failure rate 0,000205 per jam	Menegaskan bahwa reliability pada titik MTTF berada jauh di bawah ambang 70%, sebagaimana temuan penelitian ini

Sumber: Hasil kajian pustaka penulis (2026)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif, yaitu pendekatan yang berlandaskan data berbentuk angka dan dianalisis menggunakan teknik statistik untuk

memberikan gambaran sistematis, faktual, dan akurat mengenai suatu fenomena (Sugiyono, 2013). Analisis dilakukan dengan Distribusi Weibull dua parameter yang terdiri atas shape parameter (β) dan scale parameter (η). Pemilihan metode ini didasarkan pada dua pertimbangan. Pertama, Distribusi Weibull mampu merepresentasikan tiga fase bathtub curve sekaligus melalui satu parameter bentuk, sehingga fase kegagalan komponen dapat diidentifikasi tanpa asumsi awal mengenai pola kegagalan (Ota, 2016). Kedua, pendekatan ini tetap menghasilkan estimasi parameter yang stabil pada ukuran data kegagalan yang terbatas, kondisi yang lazim ditemui pada data unscheduled removal komponen pesawat (Abernethy, 2015). Parameter lokasi tidak digunakan karena waktu kegagalan diasumsikan dimulai dari nol.

Penelitian dilaksanakan selama tujuh bulan, yaitu Juli 2025 hingga Januari 2026, bertempat di PT GMF AeroAsia. Objek penelitian adalah komponen PACK Flow Control Valve P/N 1806D0000-01 pada pesawat Airbus A320. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa 41 kejadian unscheduled removal dan Time to Failure (TTF) periode 2020–2025. Pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumen dan studi literatur. Dokumen utama yang menjadi instrumen penelitian meliputi component report, maintenance discrepancy and rectification, Aircraft Maintenance Manual (AMM), Component Maintenance Manual (CMM), Illustrated Parts Catalog (IPC), Minimum Equipment List (MEL), dan Maintenance Program Airbus A320-200 milik operator. Pengolahan numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak spreadsheet. Nilai Time Since Installation (TSI) digunakan sebagai TTF karena merepresentasikan umur operasi komponen sejak dipasang hingga mengalami unscheduled removal. Pemilihan tersebut sejalan dengan Yulasmana et al. (2026) yang menggunakan TSI setiap unscheduled removal sebagai variabel umur utama, serta Rahmawati dan Mulyani (2020) yang memakai TSI secara langsung sebagai failure time pada perhitungan Weibull. Sebelum diolah, setiap data diverifikasi terhadap component report dan maintenance discrepancy dengan tiga kriteria, yaitu komponen berpart number 1806D0000-01, dilepas akibat fault atau kondisi abnormal yang tercatat dalam dokumen perawatan, dan memiliki nilai TSI lengkap. Data scheduled removal, preventive removal, pelepasan untuk modifikasi atau keperluan logistik, serta data tanpa nilai TSI tidak diikutsertakan. Seluruh 41 data memenuhi kriteria tersebut dan diperlakukan sebagai complete failure data tanpa right-censored data.

Tahapan analisis dilakukan secara berurutan. Data TTF diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar, kemudian diberi rank, reverse rank, dan adjusted rank menggunakan persamaan (1). Probabilitas kegagalan kumulatif diestimasi dengan Benard's Median Rank pada persamaan (2), lalu ditransformasikan menjadi variabel X dan Y melalui persamaan (3) dan (4) agar model Weibull yang nonlinier dapat dianalisis dengan regresi linier. Koefisien regresi B dan konstanta A pada persamaan (5) dan (6) selanjutnya digunakan untuk memperoleh β dan η melalui persamaan (7) dan (8). Parameter tersebut menjadi dasar perhitungan MTTF pada persamaan (9), reliability pada persamaan (10), failure rate pada persamaan (11), Cumulative Distribution Function pada persamaan (12), dan B-Life pada persamaan (13).

$$i = [(Reverse Rank \times Previous Adjusted Rank) + (N + 1)] \div (Reverse Rank + 1) \quad (1)$$

$$BMR = (i - 0,3) \div (n + 0,4) \quad (2)$$

$$X = \ln\{\ln[1 \div (1 - Median Rank)]\} \quad (3)$$

$$Y = \ln(failure time) \quad (4)$$

$$B = [\sum XY - (\sum X \cdot \sum Y \div n)] \div [\sum X^2 - (\sum X)^2 \div n] \quad (5)$$

$$A = \bar{Y} - B \cdot \bar{X} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}\beta &= 1 \div B & (7) \\ \eta &= e^A & (8) \\ MTTF &= \eta \cdot \Gamma(1 + 1/\beta) & (9) \\ R(t) &= \exp[-(t/\eta)^\beta] & (10) \\ \lambda(t) &= (\beta/\eta) \cdot (t/\eta)^{\beta-1} & (11) \\ F(t) &= 1 - R(t) & (12) \\ B_p &= \eta \cdot [-\ln(R)]^{1/\beta} & (13)\end{aligned}$$

Penentuan interval perawatan mengacu pada tingkat reliability sebesar 70% yang digunakan Nurcahyo et al. (2017) sebagai nilai acuan kelas industri di Indonesia. Dalam konsep B-Life, target reliability 70% berhubungan langsung dengan probabilitas kegagalan kumulatif sebesar 30%, sehingga nilai B-Life yang bersesuaian adalah B30. Nilai B30 selanjutnya dibandingkan dengan scheduled task dan phase check yang tercantum dalam Maintenance Program Airbus A320-200 untuk menilai keterterapan hasil analisis pada program perawatan yang berlaku.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PT GMF AeroAsia. Dari 41 kejadian unscheduled removal komponen PACK Flow Control Valve P/N 1806D0000-01 periode 2020–2025, jumlah kejadian tertinggi tercatat pada tahun 2024 sebanyak 12 kejadian, sedangkan jumlah terendah terjadi pada tahun 2020 sebanyak tiga kejadian. Ringkasan data Time to Failure yang digunakan sebagai masukan analisis disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Data Time to Failure Komponen PACK Flow Control Valve

Uraian	Hasil
Objek penelitian	PACK Flow Control Valve P/N 1806D0000-01
Jenis pesawat	Airbus A320
Periode data	2020–2025
Jumlah data kegagalan	41 data
TTF terendah	928 FH
TTF tertinggi	29.774 FH
Rata-rata TTF	15.608,63 FH
Jenis data kegagalan	Complete failure data (tanpa data tersensor)

Sumber: Hasil pengolahan data penulis (2026)

Rentang TTF yang lebar, yaitu 928 FH hingga 29.774 FH, menunjukkan variasi umur kegagalan antarunit komponen. Data tersebut selanjutnya diurutkan, diberi adjusted rank, dan dihitung Benard's Median Rank-nya. Pada data pertama diperoleh adjusted rank sebesar 1 dan median rank sebesar 0,016908213 atau 1,69%, yang setelah ditransformasikan menghasilkan X sebesar -4,071442 dan Y sebesar 6,8330317. Hasil perhitungan regresi linier atas seluruh data beserta parameter Weibull yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 3.

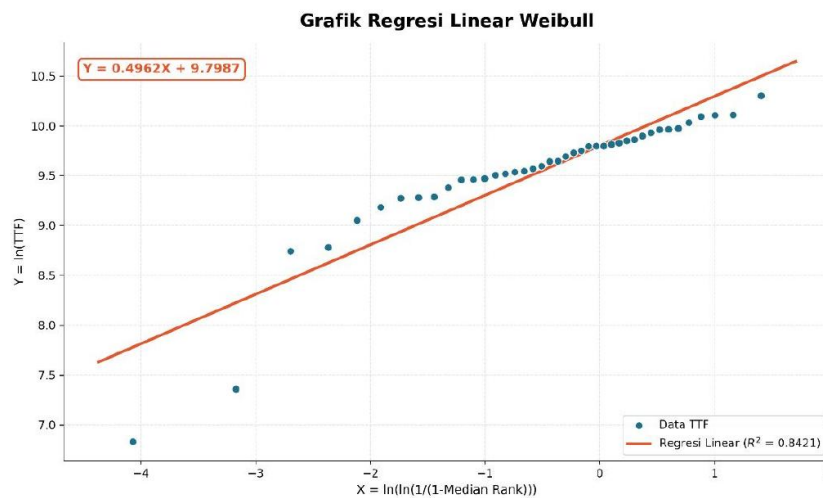
Tabel 3. Hasil Perhitungan Regresi Linier dan Parameter Distribusi Weibull

Parameter	Simbol	Nilai
Jumlah data kegagalan	n	41 data
Jumlah nilai X	ΣX	-22,88882262
Jumlah nilai Y	ΣY	390,28885669
Jumlah kuadrat X	ΣX^2	71,59378205
Jumlah perkalian X dan Y	ΣXY	-188,75650125
Rata-rata X	$\bar{X}$	-0,558263966

Rata-rata Y	$\bar{Y}$	9,521679432
Koefisien regresi	B	0,496185407
Konstanta regresi	A	9,798681865
Koefisien determinasi	R^2	0,8421
Koefisien korelasi	r	0,9176
Shape parameter	β	2,015375676
Scale parameter	η	18.009,99 FH
Gamma function	$\Gamma(1 + 1/\beta)$	0,88610961

Sumber: Hasil pengolahan data penulis (2026)

Nilai koefisien determinasi sebesar 0,8421 dan koefisien korelasi sebesar 0,9176 menunjukkan bahwa 84,21% variasi data TTF dapat dijelaskan oleh model regresi Weibull. Sebaran titik data terhadap garis regresi ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Regresi Linier Weibull Data *Time to Failure* PACK Flow Control Valve

Sumber: Hasil pengolahan data penulis (2026)

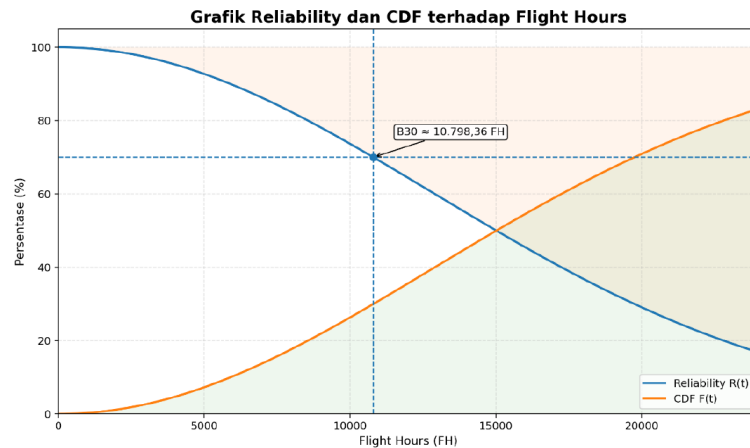
Dengan β sebesar 2,015375676 dan η sebesar 18.009,99 FH, nilai MTTF diperoleh sebesar 15.958,83 FH. Perhitungan parameter keandalan pada kondisi MTTF disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Keandalan Komponen pada Kondisi MTTF

Parameter	Simbol	Nilai
Mean Time to Failure	MTTF	15.958,83 FH
Reliability pada MTTF	$R(t)$	0,456698 (45,67%)
Cumulative Distribution Function	$F(t)$	0,543302 (54,33%)
Failure rate pada MTTF	$\lambda(t)$	0,00009897 kegagalan/FH
Failure rate dalam persen	$\lambda(t)$	0,0099% per FH
Probability Density Function	$f(t)$	0,00004520
Umur pada reliability 70%	t	10.798,36 FH

Sumber: Hasil pengolahan data penulis (2026)

Perilaku reliability dan Cumulative Distribution Function terhadap flight hours ditampilkan pada Gambar 2. Kurva reliability menurun dari mendekati 100% pada awal operasi, memotong ambang 70% pada 10.798,36 FH, dan mencapai 45,67% pada titik MTTF, sedangkan kurva CDF bergerak berlawanan arah.



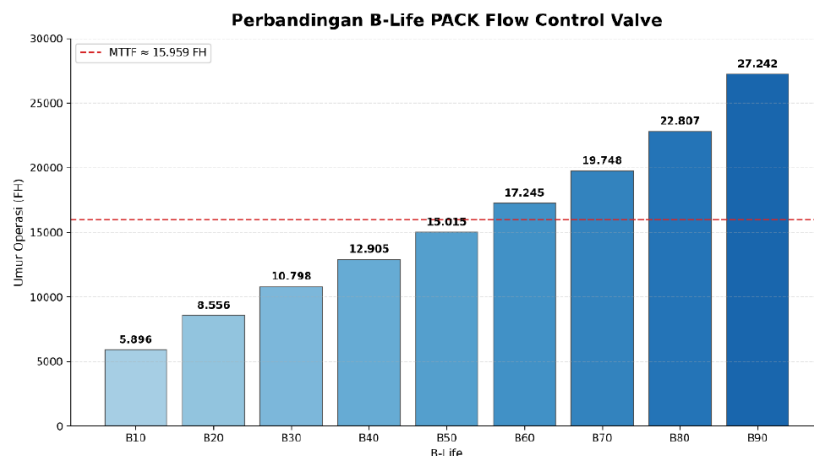
Gambar 2. Grafik Reliability dan Cumulative Distribution Function terhadap Flight Hours
 Sumber: Hasil pengolahan data penulis (2026)

Hasil perhitungan B-Life pada sembilan tingkat probabilitas kegagalan disajikan pada Tabel 5, sedangkan perbandingan visualnya terhadap nilai MTTF ditampilkan pada Gambar 3.

Tabel 5. Hasil Perhitungan B-Life PACK Flow Control Valve

B-Life	Peluang gagal	Reliability tersisa	Umur operasi
B10	10%	90%	5.896,31 FH
B20	20%	80%	8.556,39 FH
B30	30%	70%	10.798,36 FH
B40	40%	60%	12.905,14 FH
B50	50%	50%	15.015,28 FH
B60	60%	40%	17.245,47 FH
B70	70%	30%	19.747,60 FH
B80	80%	20%	22.806,69 FH
B90	90%	10%	27.242,04 FH

Sumber: Hasil pengolahan data penulis (2026)



Gambar 3. Perbandingan B-Life PACK Flow Control Valve terhadap MTTF
 Sumber: Hasil pengolahan data penulis (2026)

Penelusuran terhadap Maintenance Program Airbus A320-200 tidak menemukan scheduled task yang secara khusus menetapkan functional atau operational check terhadap PACK Flow Control Valve P/N 1806D0000-01. Perbandingan nilai B30 dengan task dan phase check yang tersedia disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Nilai B30 dengan Maintenance Program Airbus A320-200

Acuan	Komponen/ Task	Interval	Hubungan dengan hasil penelitian
MP Item 3611412001 (ATA 36-11)	Check of IP Bleed Check Valve for Condition	7.500 FH	Lebih awal 3.298,36 FH dari B30; dapat menjadi pembanding konservatif, tetapi objek komponennya berbeda
MP Item 3611412010 (ATA 36-11)	Check of IP Bleed Check Valve for Condition untuk effectivity tertentu	12.000 FH	Lebih tinggi 1.201,64 FH dari B30 dan secara numerik lebih dekat, tetapi sudah melewati titik reliability 70% serta berlaku pada komponen dan effectivity berbeda
MP Item 2150000002 (ATA 21-50)	General Visual Inspection of Trim Air Ducts between Flow Control Valve and Hot Air Manifold	24.000 FH	Berada pada area yang berkaitan dengan FCV, tetapi objek pemeriksaannya adalah trim air ducts dan intervalnya jauh di atas B30
Maintenance Program Section 3.4	A-Phase Check	1.000 FH / 1.000 FC / 6 bulan	Dapat digunakan sebagai kesempatan pelaksanaan; A-Phase pada sekitar 10.000 FH merupakan paket terdekat sebelum B30
Maintenance Program Section 3.4	C-Phase Check	12.000 FH	Berada cukup dekat dengan B30, tetapi sudah melewati batas reliability 70%

Sumber: Hasil pengolahan data penulis (2026) dan Maintenance Program Airbus A320-200

Berdasarkan seluruh hasil perhitungan tersebut, disusun usulan interval preventive maintenance sebagaimana ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Usulan Interval Preventive Maintenance PACK Flow Control Valve

Jenis Tindakan	Interval Usulan	Keterangan
Monitoring awal	± 5.800–6.000 FH	Mengacu pada B10 = 5.896,31 FH, yaitu saat probabilitas kegagalan kumulatif mencapai 10% dan reliability masih 90%. Monitoring diarahkan pada fault history, repetitive defect, abnormal condition, respons valve, dan performa sistem PACK, serta dapat dikombinasikan dengan pemeriksaan visual pada area PACK FCV.
Functional/operational check	± 10.800 FH	Mengacu pada B30 = 10.798,36 FH, yaitu ketika probabilitas kegagalan kumulatif mencapai 30% dan reliability masih 70%. Interval ini merupakan usulan utama penelitian untuk evaluasi penambahan scheduled task khusus PACK FCV ke dalam Maintenance Program.
Maintenance opportunity	± 10.000 FH	Apabila functional/operational check digabungkan dengan paket perawatan yang sudah ada, pelaksanaan dapat dipertimbangkan pada A-Phase sekitar 10.000 FH sebagai paket terdekat sebelum B30. Nilai ini merupakan alternatif pelaksanaan dan bukan pengganti B30.
Evaluasi penggantian terencana	± 15.000–15.500 FH	Dipertimbangkan sebelum komponen mendekati MTTF sebesar 15.958,83 FH apabila ditemukan indikasi degradasi, repetitive fault, atau temuan abnormal. Nilai ini bukan batas penggantian wajib.
Corrective action	Saat fault terkonfirmasi	Penggantian tetap mengikuti AMM. Apabila komponen pengganti tidak tersedia, penerbitan Hold Item List mengacu pada ketentuan MEL dan prosedur operator yang berlaku.

Sumber: Hasil pengolahan data penulis (2026)

Pembahasan

Seluruh data yang disajikan pada bagian sebelumnya merupakan data hasil pengolahan, bukan data mentah. Data TSI setiap kejadian unscheduled removal diverifikasi terlebih dahulu terhadap component report dan maintenance discrepancy, kemudian diurutkan, diberi adjusted rank, dihitung median rank-nya, dan ditransformasikan sebelum diregresikan. Dengan demikian nilai β , η , MTTF, reliability, failure rate, dan B-Life yang dilaporkan

merupakan turunan langsung dari 41 titik data operasional komponen, bukan hasil asumsi teoretis. Nilai shape parameter sebesar 2,015375676 yang lebih besar dari satu menempatkan PACK Flow Control Valve pada fase wear-out dalam bathtub curve, sehingga laju kegagalannya meningkat seiring bertambahnya waktu operasi. Temuan ini konsisten dengan karakteristik kerja komponen. FCV merupakan electro-pneumatic butterfly valve yang bekerja dalam closed loop control dan mengalami siklus pembukaan serta penutupan berulang sepanjang setiap sektor penerbangan, termasuk saat engine start, engine fire, perintah ditching, maupun ketika PACK dimatikan awak pesawat. Paparan berulang terhadap perubahan tekanan dan temperatur udara pneumatik memicu keausan bagian bergerak, penurunan kemampuan seal, peningkatan gesekan, kebocoran internal, dan perlambatan respons katup. Akumulasi degradasi tersebut menjelaskan mengapa peluang kegagalan komponen meningkat terhadap flight hours, sekaligus menjustifikasi bahwa strategi menunggu komponen gagal tidak sesuai diterapkan pada komponen ini.

Hubungan antara η dan MTTF juga sejalan dengan teori. Karena β lebih besar dari satu, nilai gamma function $\Gamma(1 + 1/\beta)$ bernilai kurang dari satu, sehingga MTTF sebesar 15.958,83 FH berada di bawah characteristic life η sebesar 18.009,99 FH. Yang lebih penting, pada titik MTTF probabilitas kegagalan kumulatif telah mencapai 54,33% sementara reliability tersisa hanya 45,67%. Temuan ini menegaskan bahwa MTTF merupakan ukuran pemusatan umur kegagalan, bukan batas aman operasi, sehingga penggunaannya secara langsung sebagai interval preventive maintenance justru menempatkan lebih dari separuh populasi komponen pada kondisi telah gagal. Atas dasar itu, pendekatan B-Life dipilih sebagai basis penentuan interval. Dengan acuan reliability 70% (Nurchayo et al., 2017), nilai B-Life yang bersesuaian adalah B30 sebesar 10.798,36 FH. Penggunaan B10 pada 5.896,31 FH akan menghasilkan interval yang terlalu dini dan berpotensi menaikkan biaya perawatan tanpa manfaat keandalan yang sepadan, sedangkan B40 ke atas menyebabkan reliability turun di bawah ambang acuan. Apabila dibandingkan dengan penelitian sejenis, hasil ini menunjukkan kesesuaian sekaligus perbedaan yang informatif. Taufik et al. (2025) memperoleh β sebesar 1,338 dengan MTTF 5.820 jam dan reliability 40,97% pada Fuel Control Unit APU Airbus A320-200; pola tersebut sejalan dengan temuan penelitian ini, yaitu reliability pada titik MTTF berada jauh di bawah ambang 70%. Rahmawati dan Mulyani (2020) melaporkan β sebesar 3,810 pada nose wheel assy ATR 72-500, nilai yang lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian ini karena keausan tyre bersifat progresif dan lebih seragam antarunit, sedangkan PACK FCV mengalami kegagalan yang dipengaruhi kombinasi degradasi mekanis dan gangguan komponen pengendali, sehingga sebaran umur kegagalannya lebih lebar. Syahla (2022) memperoleh reliability 70% pada 8.600 jam untuk windshield Boeing 737-NG, nilai yang berada pada rentang yang sebanding dengan B30 penelitian ini sebesar 10.798,36 FH meskipun objeknya berbeda. Kesesuaian arah temuan lintas komponen tersebut memperkuat validitas penggunaan Distribusi Weibull dua parameter pada data unscheduled removal berukuran terbatas.

Perbedaan utama penelitian ini terletak pada tindak lanjut hasil analisis. Penelitian terdahulu umumnya berhenti pada perolehan nilai MTTF dan rekomendasi jadwal perawatan yang bersifat umum, sedangkan penelitian ini menghadapkan nilai B30 secara langsung pada Maintenance Program Airbus A320-200. Hasil perbandingan pada Tabel 6 memperlihatkan bahwa tidak terdapat scheduled task yang secara khusus menetapkan functional atau operational check pada PACK Flow Control Valve. Task pemeriksaan IP Bleed Check Valve pada interval 7.500 FH dan 12.000 FH berada di sekitar nilai B30, tetapi keduanya berlaku pada komponen dan effectivity yang berbeda, sehingga hanya dapat berperan sebagai pembanding perencanaan. Interval 24.000 FH pada MP Item 2150000002 bahkan lebih dari dua kali nilai B30 dan menyasar trim air ducts, bukan fungsi katup. Kekosongan task inilah yang menjadi

kontribusi praktis penelitian, yaitu tersedianya angka berbasis data reliability sebesar 10.800 FH sebagai acuan awal evaluasi penambahan scheduled task.

Dari sisi keterterapan, A-Phase Check yang dilaksanakan setiap 1.000 FH menjadikan paket pada sekitar 10.000 FH sebagai maintenance opportunity terdekat sebelum komponen mencapai B30, sehingga pemeriksaan dapat diselipkan tanpa menambah downtime terjadwal. Sebaliknya, C-Phase Check pada 12.000 FH sudah melewati titik reliability 70% sehingga kurang tepat dijadikan acuan tunggal. Rangkaian usulan pada Tabel 7 karenanya disusun bertingkat: monitoring awal pada 5.800–6.000 FH untuk deteksi dini, functional atau operational check pada 10.800 FH sebagai titik evaluasi utama, dan evaluasi penggantian terencana pada 15.000–15.500 FH sebelum komponen mendekati MTTF. Susunan ini menempatkan tindakan perawatan sebelum probabilitas kegagalan kumulatif melampaui ambang yang ditetapkan, sehingga secara konseptual berpotensi menurunkan frekuensi unscheduled removal dan menjaga dispatch reliability, sejalan dengan arah pengembangan predictive maintenance pada sistem air conditioning pesawat yang dikemukakan Sun et al. (2020) dan Verhagen dan De Boer (2018).

KESIMPULAN

Analisis Distribusi Weibull dua parameter terhadap 41 data unscheduled removal komponen PACK Flow Control Valve P/N 1806D0000-01 pesawat Airbus A320 periode 2020–2025 menghasilkan shape parameter sebesar 2,015375676 dan scale parameter sebesar 18.009,99 FH, dengan Mean Time to Failure sebesar 15.958,83 FH. Pada umur operasi tersebut reliability komponen tersisa 45,67% sementara probabilitas kegagalan kumulatif telah mencapai 54,33%, dan failure rate terhitung sebesar 0,00009897 kegagalan per FH atau 0,0099% per FH. Nilai shape parameter yang lebih besar dari satu menempatkan komponen pada fase wear-out, sehingga laju kegagalannya tidak konstan melainkan meningkat seiring bertambahnya flight hours. Temuan baru penelitian ini adalah model penentuan interval perawatan berbasis B-Life untuk komponen Environmental Control System yang sebelumnya belum memiliki scheduled task khusus. Analisis B-Life menghasilkan B10 sebesar 5.896,31 FH, B20 sebesar 8.556,39 FH, dan B30 sebesar 10.798,36 FH. Dengan acuan reliability 70%, nilai B30 dipilih sebagai titik evaluasi utama sehingga diperoleh usulan functional atau operational check pada kisaran 10.800 FH, monitoring awal pada 5.800–6.000 FH, dan evaluasi penggantian terencana pada 15.000–15.500 FH. Rangkaian interval bertingkat inilah yang menjadi kontribusi utama penelitian, karena menggantikan penggunaan MTTF sebagai batas penggantian dengan titik keputusan yang secara matematis masih berada di atas ambang keandalan acuan. Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan. Data yang dianalisis terbatas pada 41 kejadian unscheduled removal dari satu penyedia jasa perawatan dan tidak mencakup right-censored data dari komponen yang masih terpasang, sehingga estimasi parameter berpotensi bersifat konservatif. Penelitian juga tidak mengurai mode kegagalan secara rinci maupun memperhitungkan aspek biaya, sehingga interval yang diusulkan belum mempertimbangkan trade-off ekonomi antara pemeriksaan terjadwal dan kegagalan tak terjadwal. Interval yang dihasilkan bersifat masukan berbasis data dan penerapannya tetap memerlukan evaluasi oleh bagian Engineering dan Reliability dengan mempertimbangkan kondisi aktual armada, riwayat kegagalan, ketentuan Aircraft Maintenance Manual, Minimum Equipment List, serta prosedur perubahan dan persetujuan Maintenance Program yang berlaku. Penelitian selanjutnya disarankan memperluas cakupan data lintas operator, menyertakan data tersensor, serta mengintegrasikan Failure Mode and Effect Analysis, Root Cause Analysis, dan optimasi biaya perawatan agar interval yang dihasilkan mempertimbangkan aspek teknis, risiko, dan ekonomi secara bersamaan. Penulis



menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Penerbangan Indonesia Curug atas dukungan akademik selama penyusunan penelitian, kepada dosen pembimbing atas arahan dan masukan yang diberikan, serta kepada PT GMF AeroAsia atas kesempatan On The Job Training dan akses terhadap data perawatan komponen yang menjadi objek penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abernethy, R. B. (2015). *The new Weibull handbook* (5th ed.). Robert B. Abernethy.
- Amri, Y. (2022). *Analisis keandalan komponen high pressure shut off valve pada pesawat Boeing 777-300ER Garuda Indonesia dengan metode distribusi Weibull* [Tugas Akhir, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug].
- Analisristianti, S. (2024). *Analisis keandalan fuel nozzle Airbus A320 NEO menggunakan distribusi Weibull dan failure mode and effect analysis di PT XYZ* [Tugas Akhir, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug].
- 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. *Gazi University Journal of Science*, 38(1), 167–179. <https://doi.org/10.35378/gujs.1306771>
- Citilink. (2025). *Minimum equipment list A320*. PT Citilink Indonesia.
- Ebeling, C. E. (1997). *An introduction to reliability and maintainability engineering*. McGraw-Hill.
- Indonesia, K. P. (2006). *Civil aviation safety regulation part 01*. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Kinnison, H. A. (2004). *Aviation maintenance management*. McGraw-Hill.
- Liu, E., & Liu, R. Y. (2023). Using the Weibull accelerated failure time regression model to predict time to health events. *Applied Sciences*.
- Mora, M. (2012). Telaahan literatur tentang program perawatan pesawat udara. *Warta Ardhia*, 38(4), 356–372.
- Mulyani, S., & Priyahapsara, I. (2023). Keandalan komponen nose wheel assy pada pesawat Cessna. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, 4(2).
- Nurchahyo, R., Sarmita, W., & Dachyar, M. (2017). *Analisis keandalan komponen sistem proses pendingin sekunder*.
- Otaya, L. G. (2016). Distribusi probabilitas Weibull dan aplikasinya (pada persoalan keandalan dan analisis rawatan). *Tadbir: Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*.
- Park, J. P., & Bahn, C. B. (2016). Uncertainty evaluation of Weibull estimators through Monte Carlo simulation: Applications for crack initiation testing. *Materials*, 9(7). <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. *Materials*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/ma10010003>
- Priyanta, D. (2000). *Keandalan dan perawatan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rahmawati, F. K., & Mulyani, S. (2020). Reliability analysis of nose wheel assy ATR 72-500. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, 6, 27–34.
- SAE International. (2018). *Flow control valve with integrated electronics for aircraft applications* (SAE Technical Paper 724).



- Setiawan, F., Adiksa, E. C., Wicaksono, D., & Anhar, M. (2023). Maintenance activity planning for fuel system components on KT-1B aircraft. *Jurnal Teknik*, 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. *Mechanics, Materials Science & Engineering*, 1, 35–40. <https://doi.org/10.21595/mme.2019.20517>
- Suciati, F. K., & Sofyan, E. (2019). Evaluation and improvement of unscheduled removal component reliability calculation method with no fault found shop finding results. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 645(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/645/1/012007>
- Sugiyono. (2013). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sun, J., Wang, F., & Ning, S. (2020). Aircraft air conditioning system health state estimation and prediction for predictive maintenance. *Chinese Journal of Aeronautics*, 33, 947–955.
- Syahla, S. (2022). Analisis windshield pesawat Boeing 737-NG terhadap kegagalan dengan menggunakan metode failure mode. *Jurnal Teknik*, 8(2), 330–341.
- Taufik, H., Widoro, E., & Budi, N. (2025). Analisis keandalan fuel control unit P/N 441921-5 pada APU Honeywell GTCP131-9(A) pesawat Airbus A320-200 di PT Indonesia AirAsia. *Jurnal Teknik*, 4(4).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan. (2009).
- Verhagen, W. J. C., & De Boer, L. W. M. (2018). Predictive maintenance for aircraft components using proportional hazard models. *Journal of Industrial Information Integration*. <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* [Tugas Akhir, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug].
- Yulasma, Y., & Raspati, B. G. (2026). Reliability-based reassessment of starter-generator preventive maintenance intervals on ATR 72-212A aircraft using operational removal data. *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace*, 70(2), 127–139. <https://doi.org/10.36842/jomase.v70i2.631>