

Prediction of A330 Hydraulic Component Life Based on MSG-3 and Reliability Data in XYZ Airline

[Prediksi Umur Komponen Hidrolik A330 Berbasis Msg-3 Dan Reliability Data Pada Maskapai XYZ]

Adhitya Anugrah Putra¹⁾, Rachmat Firdaus^{*,2)}

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: firdausr@umsida.ac.id

Abstract. The ATA 29 hydraulic system on the Airbus A330 is a critical subsystem that supports flight controls, landing gear, wheel brakes, and thrust reversers. Hydraulic leakage in components such as flexible hoses, actuators, and the engine-driven pump (EDP) can lead to unscheduled maintenance, delays/AOG, and increased maintenance costs. This study aims to optimize the determination of A330 hydraulic component life based on the MSG-3 framework and reliability data to produce more precise replacement intervals without exceeding airworthiness limits specified in the AMP/ALS/CMM. Data were collected retrospectively from installation–removal histories (FH/FC/date) and classified as failure or censored. Reliability analysis was performed using a Weibull model to estimate the β - η parameters, MTTF/MTBUR, and RUL. The results indicate that the analyzed components have $\beta > 1$ (wear-out), suggesting that the most effective control strategy is scheduled replacement (HT) or a combination with condition monitoring (OC/CM).

Keywords - Airbus A330, ATA 29, hydraulic leakage, MSG-3, reliability data.

Abstrak. Sistem hidrolik ATA 29 pada pesawat Airbus A330 merupakan subsistem kritis yang mendukung flight control, landing gear, wheel brakes, dan thrust reverser. Kebocoran hidrolik pada komponen seperti flexible hose, aktuator, dan engine driven pump (EDP) dapat memicu unscheduled maintenance, delay/AOG, serta peningkatan biaya pemeliharaan. Penelitian ini bertujuan mengoptimasi penentuan umur komponen hidrolik A330 berbasis kerangka MSG-3 dan reliability data untuk menghasilkan interval penggantian yang lebih presisi tanpa melampaui batas kelaikudaraan pada AMP/ALS/CMM. Data diambil secara retrospektif dari riwayat instalasi–removal (FH/FC/tanggal) dan diklasifikasikan menjadi failure dan censored. Analisis keandalan dilakukan menggunakan model Weibull untuk memperoleh parameter β - η , MTTF/MTBUR, dan estimasi RUL. Hasil menunjukkan komponen yang dianalisis memiliki $\beta > 1$ (wear-out), sehingga pengendalian paling efektif melalui penggantian terjadwal (HT) atau kombinasi dengan monitoring kondisi (OC/CM).

Kata Kunci - Airbus A330, ATA 29, kebocoran hidrolik, MSG-3, reliability data.

I. PENDAHULUAN

Operasi pesawat Airbus A330 menuntut tingkat keandalan yang tinggi pada sistem hidrolik (ATA 29) karena sistem ini berperan langsung dalam pengoperasian komponen kritis seperti *flight control actuators*, *landing gear*, *wheel brakes*, dan *thrust reverser*[1]. Dalam praktik operasional, salah satu gangguan yang paling sering dijumpai pada sistem hidrolik ATA 29 adalah kebocoran (*hydraulic leak*), baik pada *flexible hose*, *fitting*, *seal*, maupun komponen pendukung lainnya[2]. Kondisi ini tidak hanya menurunkan kinerja sistem, tetapi juga berpotensi memicu *unscheduled maintenance*, meningkatkan risiko *aircraft on ground* (AOG), menimbulkan keterlambatan dan pembatalan penerbangan, serta memperbesar beban biaya melalui kebutuhan penggantian komponen, penggunaan material, tenaga kerja, dan konsekuensi operasional lainnya[3], [4]. Dengan demikian, kebocoran sistem hidrolik ATA 29 merupakan permasalahan yang merugikan maskapai baik dari aspek keselamatan, keandalan, maupun efisiensi ekonomi.

Secara umum, penetapan interval inspeksi dan penggantian komponen hidrolik pada operator mengacu pada dokumen pabrikan dan ketentuan kelaikudaraan, seperti MRBR/MPD, ALS[5], [6], serta *Component Maintenance Manual* (CMM) vendor, yang kemudian diadopsi dalam *Approved Maintenance Program* (AMP)[7]. Walaupun interval tersebut telah teruji dari sisi kepatuhan regulasi, karakter interval yang cenderung konservatif dan statis belum tentu sepenuhnya merepresentasikan kondisi operasi aktual maskapai, seperti variasi profil rute, tingkat utilisasi pesawat, dan faktor lingkungan[8], [9]. Pada kondisi tertentu, interval yang terlalu panjang dapat meningkatkan peluang terjadinya kebocoran sebelum jadwal perawatan berikutnya, sedangkan interval yang terlalu pendek dapat memicu *over-maintenance* dan pemborosan biaya[10][11]. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk meninjau penetapan umur komponen hidrolik secara lebih berbasis bukti (*evidence-based*), terutama untuk memprediksi kapan komponen mulai memasuki fase peningkatan risiko kebocoran.

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

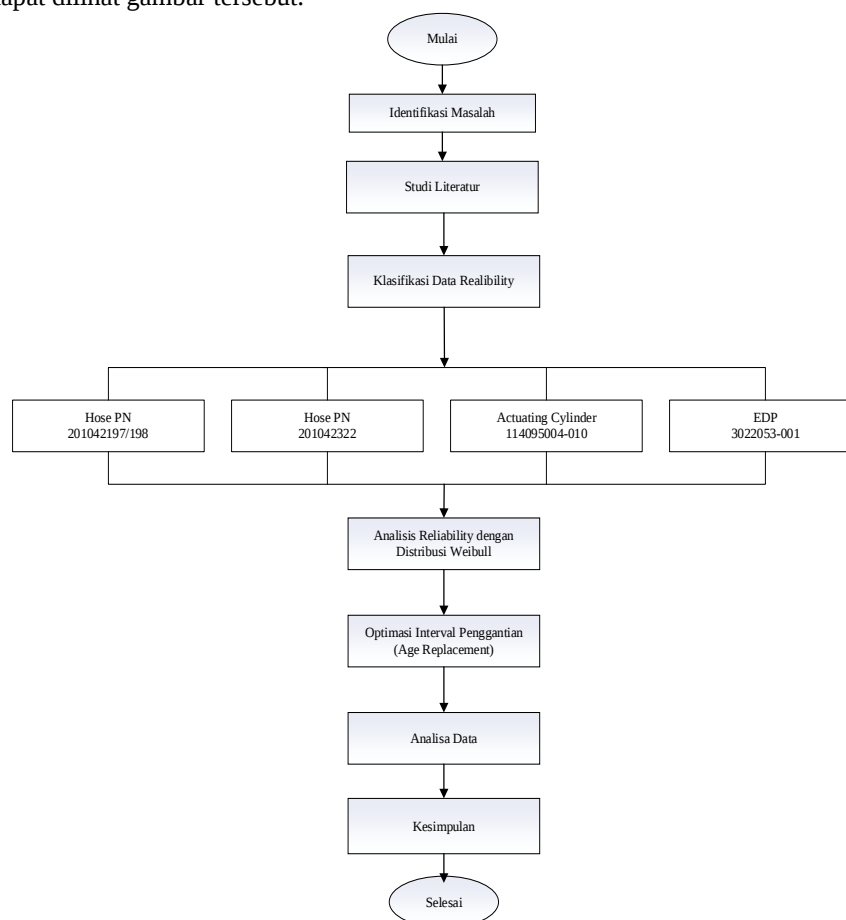
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menyusun estimasi umur komponen hidrolik A330 yang berkaitan dengan potensi terjadinya kebocoran menggunakan integrasi kerangka MSG-3 dan analisis keandalan berbasis data operasi aktual (*reliability data*). MSG-3 digunakan sebagai pendekatan sistematis dalam mengklasifikasikan kebijakan pemeliharaan (Hard Time, On-Condition, dan Condition Monitoring) sesuai konsekuensi kegagalan dan efektivitas tugas, sedangkan data keandalan dimanfaatkan untuk mengidentifikasi pola kegagalan dan menghitung estimasi *Remaining Useful Life* (RUL) atau probabilitas kebocoran terhadap umur komponen. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan rekomendasi interval penggantian yang lebih presisi dan kontekstual, sehingga dapat menurunkan kejadian kebocoran, meminimalkan AOG/delay, dan meningkatkan *dispatch reliability* tanpa mengurangi tingkat keselamatan serta tetap berada dalam koridor regulasi kelaikudaraan.

II. METODE

A. Diagram Alir Penelitian

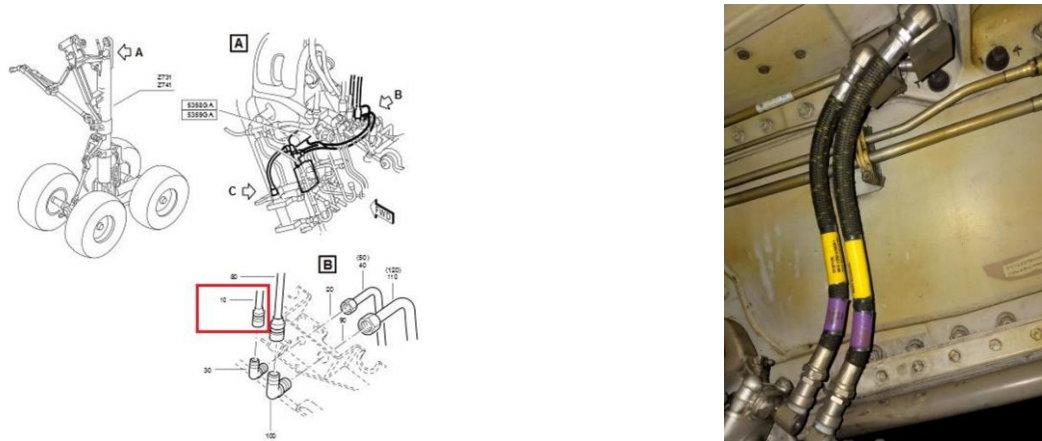
Dalam penelitian ini, langkah-langkah proses penelitian akan dijelaskan dalam diagram alir (flow chart), Diagram alir (flow chart) dapat dilihat gambar tersebut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Teknik Pengumpulan Data

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan teknik dokumentasi dan studi arsip (retrospektif) terhadap catatan pemeliharaan sistem hidrolik ATA 29 pada armada Airbus A330. Data dikumpulkan dari basis data pemeliharaan operator (CMMS/ERP), *reliability database*, serta dokumen teknis pendukung seperti *work order*, *component card*, dan laporan temuan inspeksi/overhaul. Unit analisis ditetapkan pada level komponen hidrolik dengan identitas Part Number (P/N) dan Serial Number (S/N) sehingga setiap riwayat penggunaan dapat ditelusuri secara *back-to-birth*.



Gambar 2. Obyek Penelitian

Data yang diambil meliputi riwayat instalasi dan pelepasan komponen (tanggal pemasangan dan pelepasan), parameter pemakaian pesawat berupa *Flight Hours* (FH) dan *Flight Cycles* (FC) pada saat instalasi dan removal, serta alasan pelepasan (scheduled/unscheduled, leak/fault) termasuk hasil inspeksi visual dan catatan kebocoran. Selain itu, dikumpulkan pula data pendukung berupa hasil *on-condition monitoring*, serta *shop findings* dari komponen yang masuk proses perbaikan/overhaul jika tersedia. Data limit resmi (batas kalender/FH/FC) diperoleh dari dokumen program perawatan seperti AMP/MPD/ALS dan CMM untuk memastikan batas kelaikudaraan tetap terpenuhi.

Seluruh data kemudian melalui tahap seleksi dan validasi, meliputi pemeriksaan kelengkapan kolom, konsistensi satuan, dan penyaringan *outlier*. Setelah validasi, data disusun menjadi dataset analisis keandalan berupa time-to-failure/time-to-removal, dengan pemisahan status data gagal (*failure*) dan tersensor (*censored*) untuk komponen yang masih beroperasi pada akhir periode pengamatan. Dataset final ini digunakan sebagai dasar pemodelan reliabilitas dengan distribusi Weibull dan estimasi umur sisa komponen (*Remaining Useful Life*) untuk mendukung optimasi interval penggantian berbasis MSG-3, dengan table dibawah ini dibawah ini.

Tabel 1. Parameter Weibull

Rentang β	Pola Kegagalan	Karakteristik Failure Rate	Interpretasi Maintenance	Reliability (%)
$\beta < 1$	<i>Infant Mortality</i>	Failure rate menurun	Perlu improvement kualitas / burn-in	100
$\beta = 1$	<i>Random Failure</i>	Failure rate konstan	Time-based maintenance kurang efektif	95
$1 < \beta < 3$	<i>Wear-out bertahap</i>	Failure rate meningkat perlahan	Cocok preventive replacement	90
$3 \leq \beta < 5$	<i>Wear-out cepat</i>	Failure rate naik tajam	Perlu interval penggantian lebih pendek	85
$\beta \geq 5$	<i>Wear-out sangat cepat</i>	Failure rate sangat tajam	Sangat kritis, harus strict replacement	75

Analisis keandalan komponen dilakukan menggunakan distribusi Weibull dua parameter, yaitu *shape parameter* (β) dan *scale parameter* (η). Nilai β digunakan untuk mengidentifikasi pola kegagalan komponen berdasarkan data historis waktu kegagalan (*failure time*) dalam satuan *flight cycle* (FC) atau *flight hour* (FH).

Parameter β tidak memiliki satuan (*dimensionless*) dan berfungsi untuk menunjukkan karakteristik laju kegagalan (*failure rate*) terhadap waktu. Interpretasi nilai β dalam penelitian ini mengacu pada klasifikasi sebagai berikut: $\beta < 1$ menunjukkan pola kegagalan awal (*infant mortality*), $\beta = 1$ menunjukkan kegagalan acak (*random failure*), dan $\beta > 1$ menunjukkan pola kegagalan akibat keausan (*wear-out*).

Klasifikasi nilai β tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan strategi perawatan, apakah berbasis *condition-based maintenance*, *corrective maintenance*, atau *preventive replacement* dengan penentuan *optimal replacement interval*.

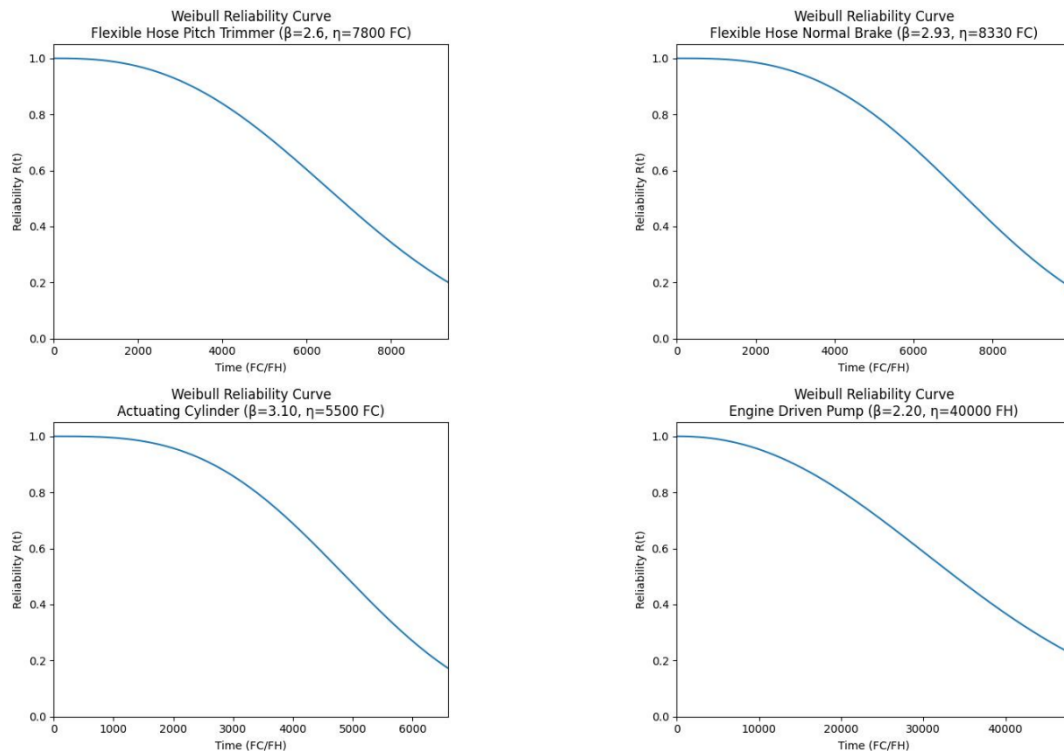
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Analisis Keandalan dan Estimasi Umur Sisa Komponen Hidrolik ATA 29

Tabel berikut merangkum hasil analisis keandalan komponen hidrolik ATA 29 pada Airbus A330, yang meliputi data instalasi–removal (FH/FC/tanggal), parameter Weibull (β dan η), serta indikator MTTF/MTBUR. Selanjutnya, nilai tersebut digunakan untuk menghitung *Remaining Useful Life* (RUL) dan menentukan interval penggantian optimal (t), dengan tetap membandingkannya terhadap limit AMP sebagai batas kelaikudaraan untuk menyusun rekomendasi akhir.

Tabel 2. Hasil Pembahasan

No	Nama Komponen	P/N	Instalasi (FH/FC/Tgl)	Removal (FH/FC/Tgl)	β	η	MTTF	RUL saat ini	Interval Optimal (t)
1	Flexible Hose Pitch Trimmer	201042197/201042198	01-01-2021 FH 0 FC 0	01-05-2024 FH 12.500 FC 2.950	2,60	7.800 FC	6.900 FC	X=2.000 FC → 1.200 FC	3.200 FC
2	Flexible Hose Normal Brake	201042322	05-08-2021 FH 0 FC 0	14-05-2024 FC 3270, 2483, 6350, 2792, 5246 FH 13966,6; 10798,6; 26387,0; 12179,4; 19302,7	2,93	8.330 FC	7.430 FC	X=3.000 FC → 181 FC	3.181 FC
3	Actuating Cylinder	114095004-010	10-03-2020 FH 0 FC 0	12-08-2025 FH 18.200 FC 3.600	3,10	5.500 FC	4.950 FC	X=2.500 FC → 900 FC	3.400 FC
4	Engine Driven Pump (EDP)	3022053-001	05-06-2022 FH 0 FC 0	15-05-2024 FH 6.800 FC 1.150	2,20	40.000 FH	≈32.000 FH	X=20.000 FH → 12.000 FH	32.000 FH



Gambar 2. Kurva Reliability

Berdasarkan hasil analisis distribusi *Weibull two-parameter*, seluruh komponen menunjukkan nilai *shape parameter* (β) lebih besar dari 1, yang mengindikasikan pola kegagalan *wear-out*, dimana laju kegagalan (*failure rate*) meningkat seiring bertambahnya umur komponen. Pada Flexible Hose Pitch Trimmer diperoleh β sebesar 2,60 dengan η sebesar 7.800 FC dan MTTF sebesar 6.900 FC. Interval optimal ditentukan pada 3.200 FC, yang lebih rendah dari nilai MTTF, karena penggantian dilakukan sebelum memasuki zona peningkatan risiko kegagalan yang lebih tajam. Dengan kondisi saat ini pada 2.000 FC, sisa umur pakai (*Remaining Useful Life / RUL*) adalah 1.200 FC.

Flexible Hose Normal Brake memiliki β sebesar 2,93 dan η sebesar 8.330 FC dengan MTTF sekitar 7.430 FC atau setara $\pm 3,7$ tahun. Interval optimal diperoleh pada 3.181 FC, sedangkan kondisi aktual telah mencapai 3.000 FC sehingga RUL tersisa 181 FC. Nilai β yang mendekati 3 menunjukkan kecenderungan peningkatan risiko kegagalan yang lebih signifikan dibanding komponen pertama.

Pada Actuating Cylinder, nilai β sebesar 3,10 menunjukkan pola *wear-out* yang lebih tajam, dengan η sebesar 5.500 FC dan MTTF sebesar 4.950 FC. Interval optimal ditentukan pada 3.400 FC. Pada kondisi aktual 2.500 FC, RUL tersisa 900 FC. Nilai β yang lebih besar dari 3 mengindikasikan percepatan kenaikan laju kegagalan sehingga penggantian preventif sebelum mencapai MTTF menjadi sangat penting untuk mencegah kegagalan tak terjadwal.

Sementara itu, Engine Driven Pump (EDP) dianalisis berdasarkan *flight hour*. Nilai β sebesar 2,20 menunjukkan pola *wear-out* bertahap dengan η sebesar 40.000 FH dan MTTF sekitar 32.000 FH. Interval optimal juga diperoleh pada 32.000 FH. Dengan kondisi saat ini pada 20.000 FH, RUL tersisa 12.000 FH. Kenaikan laju kegagalan pada komponen ini relatif lebih landai dibanding komponen lain yang memiliki β di atas 3.

Jika dibandingkan dengan batas pada *Aircraft Maintenance Program (AMP)*, interval optimal hasil analisis *Weibull* menunjukkan pendekatan yang lebih berbasis risiko dan data historis kegagalan aktual. Pada Flexible Hose Pitch Trimmer, batas AMP berbasis kalender (TFU 6 tahun yang direvisi menjadi 4 tahun) kurang merepresentasikan pola kegagalan berbasis siklus yang teridentifikasi dalam analisis. Pada Flexible Hose Normal Brake, batas *repetitive 4 tahun (Airbus)* juga menunjukkan pendekatan berbasis waktu, sedangkan hasil analisis menunjukkan bahwa siklus operasi lebih berpengaruh terhadap peningkatan risiko kegagalan.

Pada Actuating Cylinder, referensi AMP/CMM operator bersifat prosedural, namun tidak secara langsung mempertimbangkan karakteristik distribusi kegagalan aktual. Sedangkan pada Engine Driven Pump, batas TFU terkait outlet fitting atau seepage lebih bersifat inspeksi berbasis kondisi. Secara keseluruhan, karena seluruh komponen memiliki $\beta > 1$ yang mengindikasikan pola *wear-out*, maka penerapan *preventive replacement* berbasis interval optimal lebih sesuai dibanding hanya mengikuti batas kalender AMP. Pendekatan ini dapat meminimalkan risiko *unscheduled removal*, menekan biaya operasional, serta meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.

B. Optimasi Interval Penggantian Berbasis MSG-3 dan AMP

Optimasi interval penggantian pada penelitian ini dilakukan dengan mengintegrasikan hasil analisis keandalan (parameter Weibull, MTTF/MTBUR, dan estimasi RUL) ke dalam kerangka pengambilan keputusan MSG-3, dengan tetap menjadikan AMP sebagai batas kelaikudaraan (*regulatory constraint*). Dalam MSG-3, pemilihan strategi pemeliharaan ditentukan oleh karakteristik degradasi dan konsekuensi kegagalan, sehingga interval penggantian tidak hanya ditetapkan berdasarkan rekomendasi generik pabrikan, melainkan dikalibrasi terhadap pola operasi aktual operator. Hasil pada Tabel menunjukkan bahwa seluruh komponen memiliki $\beta > 1$, yang mengindikasikan pola kegagalan *age-related* (*wear-out*). Kondisi ini secara prinsip mendukung penerapan kebijakan Hard Time (HT)/age replacement untuk komponen yang dominan wear-out dan berisiko menimbulkan *unscheduled removal*, serta kebijakan *On-Condition* (OC) atau *Condition Monitoring* (CM) untuk komponen yang masih memiliki indikator kondisi yang dapat dipantau sebelum terjadi kegagalan fungsional.

Pada kelompok flexible hose (Pitch Trimmer dan Normal Brake), rekomendasi optimasi difokuskan pada penentuan interval penggantian preventif yang lebih presisi dengan mengacu pada umur karakteristik dan batas program yang berlaku. Untuk Flexible Hose Pitch Trimmer (P/N 201042197/201042198), interval program yang semula lebih longgar (TFU 6 tahun) diarahkan menjadi 4 tahun; hasil reliability memperkuat bahwa pengetatan interval tersebut konsisten dengan kecenderungan wear-out, sehingga dapat menurunkan probabilitas kebocoran sebelum jadwal perawatan berikutnya. Dengan demikian, kebijakan optimasi yang diusulkan adalah mempertahankan penggantian berbasis kalender sesuai rekomendasi TFU/AMP, namun dikontrol lebih lanjut dengan batas operasional berbasis FC (t) agar penggantian dapat diselaraskan dengan utilisasi aktual dan *maintenance event* terjadwal. Pada Flexible Hose Normal Brake (P/N 201042322), interval repetitif Airbus 4 tahun dijadikan batas maksimum, namun nilai t yang lebih pendek menunjukkan bahwa penggantian yang terlalu menunggu kalender dapat meningkatkan peluang *unscheduled leak*. Oleh karena itu, optimasi yang diusulkan ialah penggantian berbasis utilisasi (FC) sebelum mencapai batas kalender 4 tahun, dengan prinsip bahwa rekomendasi t tidak melampaui limit AMP melainkan berfungsi sebagai *early replacement threshold* untuk menurunkan risiko AOG/delay.

Selanjutnya, pada Actuating Cylinder (P/N 114095004-010), nilai β yang tinggi mengindikasikan peningkatan risiko kegagalan yang lebih tajam terhadap umur, sehingga strategi optimasi paling tepat adalah kombinasi HT + OC. Dalam hal ini, interval penggantian preventif ditetapkan sebagai batas umur maksimum yang diturunkan dari hasil reliability (t sebagai kandidat), sementara kontrol OC dilakukan melalui pemantauan kondisi (indikasi kebocoran, penurunan performa aktuasi, atau temuan inspeksi fungsional). Pendekatan kombinasi ini sejalan dengan logika MSG-3, karena pengendalian umur mencegah komponen memasuki fase wear-out, sedangkan monitoring kondisi meningkatkan detektabilitas degradasi pada periode sebelum kegagalan. Sementara itu, untuk Engine Driven Pump (EDP) (P/N 3022053-001), meskipun model umur berbasis FH menunjukkan sisa margin yang masih besar, optimasi interval tidak hanya diarahkan pada penggantian umur, melainkan pada penguatan kebijakan CM/OC karena adanya isu *outlet fitting/seepage* yang bersifat *condition-driven*. Dengan demikian, interval umur berperan sebagai batas belakang (*backstop*) sesuai AMP, sedangkan tindakan utama optimasi adalah peningkatan monitoring kebocoran, evaluasi temuan bengkel (*shop findings*), serta mitigasi faktor sistem seperti kontaminasi fluida dan kualitas sealing/fitting.

Secara keseluruhan, optimasi interval penggantian yang diusulkan menerapkan prinsip “data-driven within regulatory limits”, yaitu menjadikan AMP/ALS/CMM sebagai batas maksimum yang wajib dipatuhi, sedangkan hasil reliability digunakan untuk menentukan ambang penggantian yang lebih presisi (t dan RUL) agar penjadwalan dapat disinkronkan dengan paket perawatan terjadwal (A/C check) dan menekan kejadian *unscheduled removal*. Dengan pendekatan ini, interval yang dihasilkan diharapkan meningkatkan *dispatch reliability*, menurunkan AOG/delay akibat kebocoran ATA 29, serta mengurangi biaya total pemeliharaan tanpa mengorbankan aspek keselamatan dan kepatuhan regulasi.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan Analisis keandalan komponen hidrolik ATA 29 pada Airbus A330 menunjukkan bahwa pola kegagalan cenderung *age-related* ($\beta > 1$), sehingga risiko kebocoran meningkat seiring bertambahnya umur pemakaian baik dalam satuan FC maupun FH. Integrasi kerangka MSG-3 dengan reliability data terbukti relevan untuk mengendalikan risiko kebocoran dan *unscheduled removal* dengan tetap menjadikan AMP/MPD/ALS/CMM sebagai batas kelaikudaraan. Pada kelompok flexible hose, hasil reliability mendukung pengendalian umur yang lebih ketat, di mana P/N 201042322 memiliki MTTF ≈ 7.430 FC ($\pm 3,7$ tahun) dan selaras dengan kebijakan *repetitive replacement* 4 tahun, sementara P/N 201042197/201042198 menguatkan perlunya pengetatan interval dari 6 tahun menjadi 4 tahun untuk menekan kejadian kebocoran. Untuk Actuating Cylinder (P/N 114095004-010), strategi yang paling efektif adalah kombinasi HT + OC melalui penggantian berbasis umur yang disertai monitoring kondisi, sedangkan EDP (P/N 3022053-001) lebih tepat dikelola dengan CM/OC yang diperkaya data reliability karena isu kebocoran

fitting/seepage bersifat *condition-driven*, dengan batas AMP berfungsi sebagai *backstop*. Secara keseluruhan, rekomendasi interval hasil optimasi tetap memerlukan validasi lanjutan melalui konsistensi klasifikasi *failure/censored*, tren temuan lapangan, serta mekanisme persetujuan formal seperti forum *Reliability Control Board* sebelum diadopsi ke dalam AMP.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada orang tua saya atas dukungan, kasih sayang, dan doa selama saya menempuh studi Teknik Mesin. Terima kasih juga kepada istri dan anak saya atas kesabaran, semangat, dan kebersamaan yang selalu menguatkan. Saya turut berterima kasih kepada teman-teman seangkatan Teknik Mesin atas diskusi, dan dukungan selama perkuliahan.

REFERENSI

- [1] A. Transport Safety Bureau, "Hydraulic system malfunction, return and evacuation, involving Airbus A330, VH-EBC, 94 km west-north-west of Sydney Airport, New South Wales, on 15 December 2019," 2019. [Online]. Available: www.atsb.gov.au
- [2] Z. Li, H. Fu, and J. Guo, "Reliability Assessment of a Series System with Weibull-Distributed Components Based on Zero-Failure Data," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 15, no. 5, Mar. 2025, doi: 10.3390/app15052869.
- [3] MUHAMMAD RAKI AMMARUDIN and BASUKI ARIANTO, "ANALISIS SISTEM PEMELIHARAAN DAN PERSEDIAAN IGNITER PADA PESAWAT AIRBUS A320 DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KEANDALAN," 2021.
- [4] C. Riswanto, E. Sofyan, F. Setiawan, E. Noerachman, and I. Nazarullah, "Reliability Control Program Turbo Compressor 222254-1 Nitrogen Generation System Pesawat Boeing 777-300ER di PT GMF AeroAsia Tbk," *JURNAL AI-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*, vol. 9, no. 2, p. 175, May 2024, doi: 10.36722/sst.v9i2.2517.
- [5] D. F. Hidayat, J. Hardono, and R. Nugroho, "STRATEGI PERAWATAN MENGGUNAKAN RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE PADA ALAT AIRCRAFT WASHING TRUCK DI PT GMF AeroAsia Tbk," vol. 13, no. 2, [Online]. Available: <http://jurnal.umt.ac.id/index.php/jt/index>
- [6] Y. C. Dwiaji and A. Sura, "ANALISIS KEBOCORAN SISTEM HIDROLIK PADA LANDING GEAR PESAWAT AIRBUS A330 SERIES MENGGUNAKAN METODE PDCA," *Indonesian Journal of Mechanical Engineering*, vol. 1, 2021, [Online]. Available: <https://politap.ac.id/journal/index.php/injection>
- [7] MUHAMMAD RAKI AMMARUDIN, "ANALISIS SISTEM PEMELIHARAAN DAN PERSEDIAAN IGNITER PADA PESAWAT AIRBUS A320 DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KEANDALAN".
- [8] I. Ilhamsyah and E. Setijono, "ANALISIS PERBANDINGAN MAINTENANCE METODE MSG 2 DAN MSG 3 PADA INSPECTION C CHECK PESAWAT BOEING 737-300," *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP) Tahun*, 2018.
- [9] I. Tseremoglou and B. F. Santos, "Condition-Based Maintenance scheduling of an aircraft fleet under partial observability: A Deep Reinforcement Learning approach," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 241, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.ress.2023.109582.
- [10] Wang kai, Tian Fei, and ying, "Reliability Analysis on the Hydraulic Power System of the Civil Aircraft".
- [11] K. CAO, Y. ZHANG, and J. FENG, "Failure rate analysis and maintenance plan optimization method for civil aircraft parts based on data fusion," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 38, no. 1, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.cja.2024.08.050.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.