

STUDI LITERATUR ANALISIS KEANDALAN KOMPONEN INDUSTRI DAN PENERBANGAN

Sherly Hutri Permatasari¹, Hadi Pranoto²
Universitas Mercu Buana, Jakarta^{1,2}
55824120003@student.mercubuana.ac.id¹

Abstract: This study aims to map the analysis methodologies and the main triggers of technical component failure in the mechanical systems of the manufacturing and aviation industries. The method used is a Systematic Literature Review focusing on analysis parameters from Weibull distribution, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA), and Reliability-Centered Maintenance (RCM). The results of the study indicate that the majority of critical devices, especially hydraulic systems and actuators, have entered the wear-out phase. This is statistically proven through Weibull distribution parameters that are consistently above one ($\beta > 1$) with a contrasting priority where aviation prioritizes regulatory safety (MEL) while manufacturing focuses on cost efficiency. In conclusion, determining an accurate Mean Time to Failure (MTTF) is key to maintaining system integrity while reducing operational expenses in both sectors.

Keywords: Component Reliability, Mean Time to Failure, Root Cause Analysis, Systematic Literature Review, Weibull Distribution

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk memetakan metodologi analisis dan pemicu utama kegagalan komponen teknis pada sistem mekanis industri manufaktur dan penerbangan. Metode yang digunakan adalah tinjauan literatur sistematis menggunakan parameter analisis distribusi Weibull, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA), dan Reliability-Centered Maintenance (RCM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa mayoritas perangkat kritis, terutama sistem hidrolis dan aktuator, telah memasuki fase keausan. Hal ini dibuktikan secara statistik melalui parameter distribusi Weibull yang konsisten di atas satu ($\beta > 1$), dengan adanya kontras prioritas di mana penerbangan mengutamakan keselamatan regulasi (MEL) sementara manufaktur berfokus pada efisiensi biaya. Simpulan, penentuan Mean Time to Failure (MTTF) yang akurat menjadi kunci utama dalam menjaga integritas sistem sekaligus menekan pengeluaran operasional di kedua sektor.

Kata Kunci: Studi Literatur, Analisis kegagalan, keandalan komponen, Distribusi Weibull, MTTF

PENDAHULUAN

Keberlangsungan operasional dalam sektor industri berat dan transportasi udara sangat bergantung pada tingkat keandalan sistem mekanikal yang digunakan. Secara fundamental, keandalan merupakan parameter yang mengukur probabilitas suatu perangkat untuk berfungsi tanpa kegagalan dalam rentang waktu dan kondisi lingkungan tertentu (Setyawan et al., 2023). Di tengah kompleksitas teknologi saat ini, kegagalan pada satu komponen kecil dapat memicu efek domino yang mengakibatkan

penghentian produksi massal atau, dalam skenario terburuk, kecelakaan fatal pada moda transportasi udara. Ketidakefektifan dalam memprediksi sisa usia pakai komponen sering kali menjadi penyebab utama tingginya biaya perawatan tahunan pada berbagai sektor industri. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai karakteristik kegagalan sistem menjadi landasan krusial dalam merumuskan strategi pemeliharaan yang optimal guna mencegah kerugian materiil

maupun non-materiil secara berkelanjutan

Pada realitas operasionalnya, fenomena kegagalan yang ditemui di lapangan menunjukkan karakteristik risiko yang berbeda antar sektor. Di sektor penerbangan, komponen kritis seperti *High Pressure Shut-Off Valve* (HPSOV) dan sistem deteksi kebocoran udara panas (*Bleed Air Leak Detection*) memiliki profil risiko yang tinggi. Penelitian menunjukkan bahwa degradasi komponen pesawat sering kali disebabkan oleh faktor internal seperti korosi pada bearing dan keausan pada segel piston, maupun faktor eksternal seperti kondisi iklim operasional (Prakoso et al., 2021). Dampak dari kegagalan ini tidak hanya terbatas pada penundaan jadwal penerbangan (*delay*), tetapi juga potensi terjadinya *In-Flight Turn Back* (IFTB) yang sangat merugikan maskapai (Alrasid et al., 2023). Sementara itu di industri lainnya seperti industri manufaktur darat menghadapi tantangan pada komponen sistem tenaga dan transmisi, seperti pada unit power

Failure (MTTF) melengkapi pendekatan ini dengan memberikan estimasi waktu kegagalan yang lebih akurat secara matematis (Setyawan et al., 2023). Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini memiliki tujuan utama untuk untuk memetakan metodologi analisis dan pemicu utama kegagalan komponen teknis pada sistem mekanis industri manufaktur dan penerbangan.

Manfaat dilakukannya penelitian ini menjadi sangat penting karena dapat memberikan kontribusi nyata bagi industri dalam meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi waktu henti produksi (*downtime*), dan meminimalkan kerugian akibat

train atau mesin *mechanical conveyor*. Meskipun lingkungan operasinya berbeda dengan pesawat terbang, prinsip-prinsip kegagalan yang ditemukan tetap berfokus pada akar permasalahan (*root cause*) yang serupa, yakni kurangnya optimalisasi pemeliharaan preventif (Ghufra Alhambali et al., 2022; Muhammad Rafi'i et al., 2025).

Untuk mengelola risiko-risiko tersebut, berbagai metodologi penelitian terdahulu yang sejenis dan relevan telah banyak diimplementasikan, baik melalui pendekatan kualitatif hingga kuantitatif. *Reliability Centered Maintenance* (RCM) digunakan untuk menyusun strategi perawatan berdasarkan prioritas fungsi komponen (Candra, 2022). Sementara itu, metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) sangat efektif untuk mengidentifikasi titik lemah sistem secara sistematis (Bimantara et al., 2026). Analisis statistik melalui distribusi Weibull dan perhitungan *Mean Time to*

kegagalan tidak terprediksi. Melalui hasil tinjauan ini, manajemen dapat mengambil keputusan berbasis data untuk meminimalisir pengeluaran atau biaya tambahan (*cost*) akibat *delay* produksi yang tinggi. Lebih dari itu, aspek kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada kedalaman tinjauan komparatif yang menggabungkan keandalan mesin dengan peluang integrasi teknologi masa depan lintas sektor, yang membedakannya dari penelitian terdahulu yang relevan. Sebagai perbandingan, penelitian oleh (Pamungkas et al., 2023) melakukan kajian literatur mengenai penggunaan teknik evaluasi keandalan mesin pada

berbagai industri di Indonesia namun masih berfokus secara umum pada teknik konvensional berbasis *time to failure* (TTF). Sementara itu, penelitian oleh Wildan et al., (2024) mengkaji efektivitas metode FMEA yang berfokus secara spesifik untuk meminimalkan kegagalan kerja dan memaksimalkan produksi hanya pada ruang lingkup industri manufaktur. Penelitian ini mengisi celah (*gap*) tersebut dengan menyajikan sintesis komparatif yang memetakan metodologi analisis sekaligus membandingkan pemicu utama kegagalan pada dua sektor utama, yaitu manufaktur darat dan penerbangan, secara simultan guna mendapatkan standarisasi manajemen pemeliharaan yang lebih komprehensif.

TINJAUAN LITERATUR

Keandalan didefinisikan sebagai kemampuan suatu komponen atau sistem untuk berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan dalam periode waktu tertentu dan kondisi operasional yang normal. Dalam konteks manufaktur, analisis keandalan digunakan untuk memprediksi masa pakai komponen mesin guna menghindari pemberhentian produksi yang tidak terencana (Hidayaturrohmah et al., 2021). Secara matematis, tingkat keandalan sering diukur menggunakan parameter waktu antar kegagalan (*Mean Time Between Failures*/MTBF) dan waktu rata-rata untuk perbaikan (*Mean Time to Repair*/MTTR) guna menilai efektivitas sistem pemeliharaan (Naufal et al., 2026).

Beberapa metodologi standar digunakan dalam literatur untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah teknis. *Failure Mode and*

Effect Analysis (FMEA) merupakan teknik sistematis untuk mengevaluasi potensi kegagalan berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN), yang menggabungkan aspek keparahan, frekuensi kejadian, dan kemampuan deteksi (Parakoso & Marwan, 2025; Pradana & Ayende, 2025). Selain itu, *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) sering kali dipadukan untuk memetakan hubungan logis antara kegagalan sistem utama dengan kejadian-kejadian dasar (*basic events*) di tingkat komponen (Fadli et al., 2020; Nadhira Nur Azizah et al., 2026).

Pada sektor penerbangan menerapkan standar keandalan yang sangat ketat karena kaitan langsungnya dengan keselamatan jiwa. Analisis pada komponen vital seperti *Twin Motor Actuator* pada sistem bahan bakar atau *Brake Servo Valve* pada sistem hidrolik menunjukkan bahwa kegagalan berulang dapat mengganggu jadwal operasional dan memerlukan tindakan korektif segera sesuai regulasi *Minimum Equipment List* (MEL) (Bimantara et al., 2026; Nadhira Nur Azizah et al., 2026). Studi pada sistem *Ram Air Actuator* dan *Nose Wheel Assy* juga menekankan pentingnya penjadwalan *preventive maintenance* berbasis data statistik untuk menekan angka kegagalan selama fase kritis lepas landas dan pendaratan (Mulyani & Priyahapsara, 2023; Setiawan et al., 2021).

Pada industri manufaktur dan pengolahan, fokus keandalan diarahkan pada optimalisasi produktivitas. Komponen seperti *thrust bearing* pada mesin *screw press* atau rantai penggerak pada mesin *thresher* kelapa sawit diidentifikasi sebagai titik kritis yang memiliki RPN tinggi (Nur

& Isranuri, 2021; Parakoso & Marwan, 2025). Penggunaan distribusi Weibull dalam analisis data kegagalan membantu teknisi dalam menentukan interval penggantian komponen secara akurat, sehingga meminimalkan biaya perawatan darurat yang tinggi (Hidayaturrohman et al., 2021).

Reliability Centered Maintenance (RCM) menjadi strategi manajemen perawatan yang paling banyak diadopsi untuk menjaga fungsi sistem tetap optimal. Metode ini mengintegrasikan hasil analisis keandalan ke dalam jadwal perawatan rutin, baik yang bersifat *preventif* maupun *prediktif* (Setiawan et al., 2022). Dengan menggabungkan data historis kegagalan dan simulasi statistik, perusahaan dapat beralih dari pola perawatan reaktif menjadi proaktif, yang terbukti lebih efektif dalam menekan total biaya operasional jangka panjang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan strategi *Systematic Literature Review* (SLR) untuk menganalisis keandalan

pada sektor industri manufaktur dan penerbangan. Tahapan riset dimulai dengan merumuskan pertanyaan terkait metode dominan pengukur keandalan dan faktor pemicu kegagalan sistem. Seleksi literatur dilakukan melalui penyaringan jurnal nasional dan internasional publikasi tahun 2021 sampai dengan 2026. Kriteria jurnal difokuskan pada studi kasus yang menerapkan metode FMEA, FTA, RCA, RCM, serta distribusi Weibull. Data yang diperoleh kemudian disintesis untuk membandingkan karakteristik kegagalan antara komponen alat berat industri dengan komponen presisi tinggi pada pesawat terbang.

HASIL PENELITIAN

Berdasarkan pengumpulan data melalui metode literatur sistematis (*Systematic Literature Review*) terhadap beberapa studi kasus di sektor penerbangan dan industri, ditemukan jenis komponen spesifik, metode analisis, mode kegagalan utama beserta akar penyebabnya (*root cause*) sebagaimana terperinci pada table 1.

Tabel 1.
Perbandingan Mode Kegagalan Komponen Industri dan Penerbangan

No	Penulis & Tahun Jurnal	Sektor	Komponen Spesifik	Metode Analisis	Mode Kegagalan Utama	Akar Penyebab (<i>Root Cause</i>)
1	(Nadhira Nur Azizah et al., 2026)	Penerbangan	Twin Motor Actuator	Root Cause Analysis (RCA) & Pareto	Kegagalan berulang (Repetitive failure)	Dikategorikan dalam MEL Interval B (memerlukan investigasi pada sistem kelistrikan/mekanik motor).
2	(Setiyanto et al., 2026)	Penerbangan	Power Conditioning Module (PCM) - Thrust Reverser	Pareto Diagram & RCA	Malfungsi unit PCM pada sistem Thrust Reverser	Kegagalan internal pada komponen elektronik PCM yang mengganggu sistem pengereman.

No	Penulis & Tahun Jurnal	Sektor	Komponen Spesifik	Metode Analisis	Mode Kegagalan Utama	Akar Penyebab (<i>Root Cause</i>)
3	(Bimantara et al., 2026)	Penerbangan	Alternate Brake Servo Valve	FMEA & FTA	Unscheduled removal (kegagalan pengereman)	Kontaminasi internal pada valve dan keausan seal akibat siklus operasional yang tinggi.
4	(Marpaung et al., 2021)	Industri (Sawit)	Mesin Thresher	FMEA (Risk Priority Number)	Kerusakan mekanis pada komponen transmisi	Sistem pemeliharaan yang masih bersifat <i>corrective</i> (diperbaiki hanya saat rusak).
5	(Parakoso & Marwan, 2025)	Industri (Sawit)	Komponen Mesin Thresher	FMEA (Risk Priority Number)	Kegagalan operasional kontinu	Kerusakan pada bantalan (bearing) dan rantai penggerak karena beban kerja tinggi.
6	(Ghufra Alhambali et al., 2022)	Industri	Central Mechanical Conveyor	FMEA	Kegagalan sistem distribusi mekanis	Masalah pada panel pengendali (elektrikal) dan keausan pada <i>hanggar bearing bushing</i> .
7	(Nur Isranuri, 2021)	Industri (Sawit)	Screw Press	RBD, FMEA, & RCA	Kegagalan mekanis pada bearing	Sistem perawatan yang kurang maksimal dan pelumasan yang tidak memadai.
8	(Fadli et al., 2020)	Industri (Sawit)	Sistem Instrumentasi Boiler	FTA & FMEA	Kegagalan produksi steam (uap)	Kerusakan pada instrumen kontrol suhu dan tekanan yang menyebabkan <i>downtime</i> .
9	(Alrasid et al., 2023)	Penerbangan	Skin Air Outlet Valve	Alert Level, MTBUR, & RCA	Katup terbuka saat terbang (mengganggu <i>pressurization</i>)	Keausan komponen internal dan perlunya optimalisasi jadwal <i>overhaul</i> .
10	(Setiawan et al., 2021)	Penerbangan	Ram Air Actuator	FMEA & Reliability	Macet (<i>Stuck</i>) atau gagal beroperasi	Kerusakan pada <i>housing assembly, bearing</i> , dan masalah elektrikal.
11	K(Pradana & Ayende, 2025)	Industri (Migas)	Gas Compressor AJAX DPC-360	FMEA (RPN)	Liquid Carryover, Hunting, & Backfiring	Lemahnya pemisahan cairan (kondensat) dan ketidakstabilan suplai gas.
12	(Muhammad Rafi'i et al., 2025)	Industri (Alat Berat)	Power Train System (OHT773E)	Root Cause Failure Analysis (RCFA)	Kegagalan transfer tenaga ke <i>final drive</i>	Kontaminasi pelumas atau keausan material pada sistem transmisi daya.
13	(Nisa et al., 2023)	Industri (Otomotif)	Kompresor, Injection	FMEA	Berhenti beroperasi (<i>Breakdown</i>)	Kurangnya pemetaan potensi kegagalan

No	Penulis & Tahun Jurnal	Sektor	Komponen Spesifik	Metode Analisis	Mode Kegagalan Utama	Akar Penyebab (<i>Root Cause</i>)
			Molding, Chillers			untuk strategi perawatan rutin.
14	(Syarifudin & Putra, 2021)	Industri (Penyewaan Alat Berat)	Excavator Komatsu PC 150LC-6	FTA (Fault Tree Analysis) & FMEA	Kebocoran hose hidrolik (RPN tertinggi 504)	Faktor manusia, mesin, metode, dan material
15	(Prakoso et al., 2024)	Penerbangan	Sistem Beta Pesawat Grob 120TP-A	MTBF (<i>Mean Time Between Failure</i>) & FTA	<i>Vibration</i> dan <i>N2 Fluctuate</i>	Kegagalan sistem sebelum mencapai usia 3000 jam terbang
16	(Vito Prisma et al., 2025)	Industri (Manufaktur)	Mesin Overhead Crane	FMEA, FTA, & Fishbone Diagram	Kegagalan komponen elektrik pada Overhead Crane	Faktor manusia, mesin, material, dan lingkungan
17	(Triardianto & Siagian, 2025)	Industri (Pengolahan Teh)	Mesin Trinick	FMEA & Fishbone Diagram	Keausan komponen yang mengakibatkan <i>downtime</i> tinggi	Kurangnya perawatan dan umur pemakaian yang sudah lama

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa kerusakan komponen kritis seperti valve, actuator, bearing, dan sistem hidrolik didominasi oleh faktor keausan alami, korosi, serta kontaminasi material. Di sektor penerbangan, kegagalan berisiko langsung pada sistem vital seperti pressurization dan pengereman, sementara di sektor industri berdampak langsung terhadap downtime produksi.

Berdasarkan data kuantitatif yang dihimpun menunjukkan nilai parameter bentuk (β) dan estimasi nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) atau interval kegagalan untuk masing-masing komponen yang diamati. Hasil perhitungan tersebut tersaji secara lengkap pada Tabel 2

Tabel 2.
Perhitungan MTTF menggunakan Weibull distribusi

No	Penulis & Tahun Jurnal	Objek Penelitian / Komponen	Parameter Bentuk / (β)	Nilai MTTF / Interval	Karakteristik Kegagalan
1	(Arsyi Ammar et al., 2024)	Pressure Regulated Valve (PRV)	0,925891014	9161,438 FH	<i>early failure</i>
2	(Mulyani & Priyahapsara, 2023)	Nose Wheel Assembly	1,258549	398,231 FH	<i>Wear-out failure</i>
3	(Putra & Firdaus, 2026)	Komponen Hidrolik A330 (Flexible Hose /FH, Actuator, Engine Driven Pump)	· FH Pitch Trimmer: 2,60 · FH Normal Brake: 2,93 · Actuator: 3,10 · EDP: 2,20	- FH Pitch Trimmer: 6900 FC - FH Normal Brake: 7430 FC - Actuator: 4950 FC - EDP: 32000 FH	<i>Wear-out failure</i>
4	(Setyawan et al., 2023)	Mesin Screw Press	· Mesin #1: 1,7642 · Mesin #2: 2,24733 · Mesin #3: 2,04403 · Mesin #4: 1,81502 · Mesin #5: 1,72555 · Mesin #6: 2,07203	- Mesin #1: 285,47 FH - Mesin #2: 41,06 FH - Mesin #3: 41,05 FH - Mesin #4: 50,27 FH - Mesin #5: 50 FH - Mesin #6: 46,97 FH	<i>Wear-out failure</i>
5	(Furqon et al., 2025)	Fuel Control Unit (FCU)	1,338211541	5820,33 FH	<i>Wear-out failure</i>

Berdasarkan Tabel 2, mayoritas komponen yang diteliti memiliki nilai parameter bentuk yang secara konsisten lebih besar dari satu ($\beta > 1$), kecuali pada komponen Pressure Regulated Valve (PRV) yang memiliki nilai $\beta = 0,92$. Nilai MTTF yang dihasilkan bervariasi bergantung pada jenis komponen dan satuan operasionalnya, baik dalam Flight Hours (FH), Flight Cycles (FC), maupun Operating Hours. Sedangkan berdasarkan ekstraksi data literatur, efektivitas pencapaian hasil mitigasi sangat dipengaruhi oleh kesesuaian penggunaan metode analisis keandalan yang diterapkan, seperti dipaparkan pada Tabel 3. Dari data yang ada menunjukkan bahwa pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah solusi terbaik untuk menentukan interval perawatan optimum berdasarkan data kegagalan riil.

Tabel 2 menunjukkan efektivitas dari metode analisis keandalan

menggunakan metode FMEA (RPN), FTA maupun RCM. Dapat dilihat juga dari ketiga metode tersebut memiliki keunggulan dalam literatur apa saja.

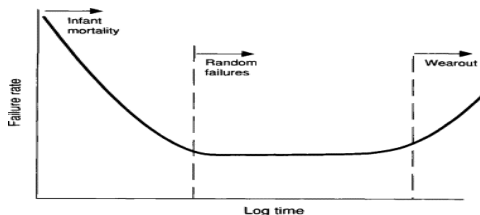
Tabel 3.
Efektivitas Metode Analisis Keandalan

Metode	Keunggulan dalam Literatur	Relevansi Sektor
FMEA (RPN)	Mampu merangking komponen berdasarkan tingkat keparahan deteksi.	Sangat tinggi pada industri manufaktur untuk menekan biaya downtime.
FTA	Menelusuri kegagalan sistem kompleks hingga ke <i>basic event</i> .	Standar wajib pada sistem <i>safety-critical</i> di penerbangan (misal: sistem pengereman).
RCM	Menentukan interval perawatan optimum berdasarkan data kegagalan riil.	Digunakan untuk mengoptimalkan stok komponen dan jadwal <i>overhaul</i> .

PEMBAHASAN

Identifikasi mode kegagalan melalui metode FMEA dan FTA terbukti efektif dalam memetakan akar penyebab kegagalan fisik sekaligus mendukung efisiensi manajemen rantai pasok (*supply chain*) suku cadang di hangar atau pabrik, seperti yang di tunjukkan oleh 57 kasus penanganan tidak terjadwal (*unscheduled removal*) pada *Alternate Brake Servo Valve* (Bimantara et al., 2026).

Berdasarkan konsep *Bathtub Curve* (Grafik 1), kegagalan mekanikal dapat diklasifikasikan ke dalam tiga fase utama berdasarkan nilai parameter bentuk Weibull (β), yaitu fase kegagalan dini ($\beta < 1$), kegagalan acak ($\beta = 1$) dan fase penuaan atau *wear-out* ($\beta > 1$).



Grafik 1. Bathtub Curve

Berdasarkan data pada Tabel 2, terlihat bahwa mayoritas komponen kritis di kedua sektor secara konsisten menunjukkan karakteristik *wear-out failure* dengan nilai $\beta > 1$, seperti *Nose Wheel Assembly* (Mulyani & Priyahapsara, 2023) dengan $\beta = 1,25$, seluruh komponen hidrolik pesawat A330 (Putra & Firdaus, 2026) dengan β di rentang 2,20–3,10, serta seluruh mesin *Screw Press* pada industri sawit (Setyawan et al., 2023) dengan β di rentang 1,72–2,24 secara statistik telah memasuki fase keausan. Nilai $\beta > 1$ ini artinya bahwa probabilitas terjadinya kegagalan akan meningkat tajam seiring bertambahnya usia pakai komponen.

Pengecualian ditemukan pada *Pressure Regulated Valve* (PRV) oleh Arsyi Ammar et al. (2024) yang memiliki nilai $\beta = 0,92$, dimana menurut teori *Bathtub Curve* mengindikasikan karakteristik *early failure* akibat potensi cacat manufaktur atau kesalahan instalasi awal. Oleh karena itu, bahwa penentuan nilai MTTF yang akurat berdasarkan distribusi Weibull ini terbukti efektif dalam memetakan karakteristik kegagalan untuk menentukan jadwal perawatan preventif yang lebih akurat dan terukur. Meskipun metode kuantitatif Weibull dan metode kualitatif (FMEA/FTA) dapat diterapkan di kedua sektor, peneliti menemukan adanya perbedaan filosofis yang mendasar antara industri manufaktur dan penerbangan terkait toleransi risiko serta prioritas strategi mitigasinya. Di sektor penerbangan, analisis keandalan dan mitigasi komponen sangat diikat secara ketat oleh regulasi keselamatan internasional melalui *Minimum Equipment List* (MEL) karena berdampak langsung pada aspek keselamatan jiwa penumpang seperti penanganan kegagalan berulang (*repetitive failure*) pada *Twin Motor Actuator* harus segera ditangani karena masuk ke dalam regulasi keselamatan terbang (Nadhira Nur Azizah et al., 2026).

Sebaliknya, pada sektor industri manufaktur, fokus utama analisis keandalan menitikberatkan pada minimalisasi downtime operasional guna menjaga produktivitas ekonomi dan kontinuitas performa mesin pabrik (Candra, 2022). Perbedaan karakteristik operasional ini melahirkan strategi mitigasi yang berbeda pada masing-masing sektor.

Sebagai solusi mitigasi akhir, pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) menjadi strategi terbaik untuk menentukan interval perawatan optimum dengan menyerap analisis risiko FMEA dan penelusuran FTA. Hasilnya, sektor penerbangan dapat memenuhi standar regulasi keselamatan secara presisi, sedangkan sektor manufaktur dapat mengoptimalkan stok komponen dan jadwal overhaul guna menekan biaya downtime.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengintegrasikan distribusi Weibull, FMEA, FTA, dan RCM untuk melacak akar masalah serta menentukan interval perawatan *preventif* optimal berdasarkan estimasi MTTF pada sistem mekanis industri manufaktur dan penerbangan. Pemicu utama kegagalan di kedua sektor didominasi oleh keausan fisik dan kontaminasi komponen kritis seperti sistem hidrolis dan katup yang berada pada fase *wear-out* ($\beta > 1$). Meskipun pemicunya serupa, kedua sektor memiliki perbedaan fokus operasional yang kontras; penerbangan mengutamakan keselamatan regulasi melalui *Minimum Equipment List* (MEL), sedangkan manufaktur lebih menitikberatkan pada efisiensi biaya dan produktivitas ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alrasid, H., Arifin, M., & Sakti, A. (2023). Analisis Keandalan Skin Air Outlet Valve 22HQ pada Pesawat Airbus 320 di Maskapai BBB. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, 8(2). <https://doi.org/10.35894/jtk.v8i2.85>
- Arsy Ammar, D., Esthi Riyanti, L., & Herwanto, D. (2024). Analysis of Reliability Pressure Regulated Valve Engine Rolls Royce Trent 700 on Airbus 330-300/200. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 42(2), 659–670. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.52155/ijpsat.v42.2.5954>
- Bimantara, B., Lilies Esthi Riyanti, & Dody Herdianto. (2026). Analisis Kegagalan Brake Servo Valve Hydraulic System Blue pada Main Landing Gear Pesawat Airbus A330 dengan Metode FMEA dan FTA di PT. GMF AeroAsia,Tbk. *Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 6(1), 98–117. <https://doi.org/10.55606/teknik.v6i1.8651>
- Candra, A. (2022). Analisa Reliability Centered Maintenance (RCM) Mesin Sablon Digital. *Tekmapro*, 17(2), 37–48. <https://doi.org/10.33005/tekmapro.v17i2.294>
- Fadli, R., Jufrizel, J., & Hastuti, W. P. (2020). Analisa Sistem Instrumentasi dan Keandalan Boiler dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). *El Sains : Jurnal Elektro*, 2(2), 17–22. <https://doi.org/10.30996/elsains.v2i2.4768>
- Furqon, Hilman Taufik, Ego Widoro, Nugroho Budi, Nurdin, Kurniawan, & Tia Dikatama Tsania. (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.

- Jurnal TNI Angkatan Udara*, 4(4).
<https://doi.org/10.62828/jpb.v4i4.180>
- Ghufra Alhambali, A., Puji Hastuti, W., & Jufrizel. (2022). Analisis Keandalan Mesin Mechanical Conveyor Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis. *Jurnal Elsains*, 4. <https://doi.org/https://doi.org/10.30996/elsains.v4i2.7505>
- Hidayaturrohman, N., Studi, P., Mesin, T., Tunggal, G., Zohari, A., Eng, M., & Masykur, K. (2021). Analisis Keandalan Komponen Kritis Pada Mesin Auto Trimming DAT-18 di Departemen Inspection PT A. *JURNAL ILMU TEKNIK MESIN*, 1(1), 1–8. <https://jitm.poltek-gt.ac.id/index.php/ejournal/id/article/view/2>
- Marpaung, S. B., Ritonga, D. A. A., & Irwan, A. (2021). Analisa Risk Priority Number (RPN) Terhadap Keandalan Komponen Mesin Thresher Dengan Menggunakan Metode FMEA di PT.XYZ. *JiTEKH*, 9(2), 74–81. <https://doi.org/10.35447/jitek.v9i2.427>
- Muhammad Rafi'i, Mad Yusup, Purbawati Purbawati, Ida Rosanti, & Diyaa Aaisyah Salmaa Putri Atmaja. (2025). Analisis Kerusakan Komponen Sistem Power Train Menggunakan Root Cause Failure Analysis (RCFA) pada PT. Cipta Kridatama Samarinda. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 3(4), 162–174. <https://doi.org/10.61132/venus.v3i4.1057>
- Mulyani, S., & Priyahapsara, I. (2023). Keandalan Komponen Nose Wheel Assy pada Pesawat Cessna. *Quantum Teknika : Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 4(2), 69–74. <https://doi.org/10.18196/jqt.v4i2.16357>
- Nadhira Nur Azizah, Feti Fatonah, & Djoko Herwanto. (2026). Analisis Akar Penyebab Kegagalan Twin Motor Actuator pada Fuel System P/N FRH010041 Pesawat Airbus 330 Series di PT GMF AeroAsia, Tbk. *Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 6(1), 78–97. <https://doi.org/10.55606/teknik.v6i1.8579>
- Naufal, M., Fitriani, R., & Sumitra, N. R. (2026). Analisis keandalan mesin roll menggunakan MTBF dan MTTR pada PT XYZ Karawang. *Jurnal Terapan Teknik Industri*, 7(2), 421–434. <https://doi.org/10.37373/jenius.v7i2.2252>
- Nisa, K. S., Melyna, E., Maulana, M. I., & Ridwan, M. A. A. (2023). Perbaikan Kualitas Produksi dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) di PT. ABC. *Journal of Community Services in Sustainability*, 1(1), 37–46. <https://doi.org/10.52330/jocss.v1i1.139>
- Nur, S., & Isranuri, I. (2021). Analisa Keandalan Mesin Screw Press Berdasarkan Identifikasi Kegagalan Failure Mode And Effect Analysis Dan Root Cause Analysis. *DINAMIS*, 9(2), 12–21. <https://doi.org/10.32734/dinamis.v9i2.8433>
- Pamungkas, I., Irawan, H. T., & Hasnita, H. (2023). Penggunaan Teknik Evaluasi Keandalan Mesin Pada Berbagai Industri di Indonesia: Literature Review.

- VOCATECH: *Vocational Education and Technology Journal*, 5(1), 22–32. <https://doi.org/10.38038/vocatech.v5i1.128>
- Parakoso, D. A., & Marwan, M. (2025). Analisa Risk Priority Number (RPN) Terhadap Keandalan Komponen Mesin Thresher Menggunakan Metode FMEA di PT Indopalma Agro Persada. *Jurnal Teknik Dan Industri*, 3(2), 141–153. <https://doi.org/10.22303/upu.1.1.2021.01-10>
- Pradana, K. R., & Ayende, A. (2025). Analisa Kegagalan Pada Gas Compressor AJAX DPC-360 Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Dan Mineral*, 5(1), 749–760. https://doi.org/10.53026/prosiding_sntem.v5i1.631
- Prakoso, A., Kurniawan, R., & Mauluddin, F. (2021). Penanganan dan Analisa Kegagalan pada Bleed Air Leak Detection System Pesawat Airbus A330-300 di Hanggar 3 Pt. Gmf Aeroasia. *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (JATRA)*, 3(2), 2685–4910. <https://doi.org/10.30871/jatra.v3i2.3714>
- Prakoso, A., Setyo, B. C. G. A., Dermawan, D., Budiono, C. S., Lukito, I., & Kurniawan, R. (2024). Analisa kegagalan sistem beta pesawat Grob G 120TP-A dengan menggunakan metode Mean Time Between Failure. *Jumantara Jurnal Manajemen Dan Teknologi Rekayasa*, 3(2), 113–120. <https://doi.org/10.28989/jumantara.v3i2.2378>
- Putra, A. A., & Firdaus, R. (2026). Prediction of A330 Hydraulic Component Life Based on MSG-3 and Reliability Data in XYZ Airline. *Umsida - Universitas Muhammadiyah Sidoarjo*, 1–7. <https://doi.org/10.21070/ups.10400>
- Setiawan, F., Sofyan, E., & Hadi, M. (2021). Perencanaan Preventive Maintenance Ram Air Actuator pada Pesawat Boeing 737 Next Generation Menggunakan Metode Reliability di PT. GMF Aeroasia. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, 1(2), 53–62. <https://doi.org/10.52158/jamere.v1i2.246>
- Setiawan, F., Taaqbier, M., & Anhar, M. (2022). Perencanaan Preventive Maintenance Menggunakan Metode Reliability pada Electrical Sistem Auxiliary Power Unit Boeing 737-500. *Injection: Indonesian Journal of Vocational Mechanical Engineering*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.58466/injection.v2i1.279>
- Setiyanto, M. A., Cakra, W., & Herdianto, D. (2026). Analisis Penyebab Kegagalan Power Conditioning Module pada Sistem Thrust Reverser Engine Rolls-Royce Trent-700 pada Pesawat Airbus A330-300 di PT. GMF AeroAsia, Tbk. *Elektro Dan Ilmu Komputer (TEKNIK)*, 6(1), 217–232. <https://doi.org/10.55606/teknik.v6i1>
- Setyawan, A., Hotma, A., Tumanggor, U., Rizali, M., Sia, M., Ol, M., &

- Selvija Tambun, S. (2023). Analisis Keandalan Mesin Screw Press dengan Metode MTTF. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri (SENASTI)*, 1, 205–214.
<https://ojs.uajy.ac.id/index.php/SENASTI/article/view/7943>
- Syarifudin, A., & Putra, J. T. (2021). Analisa Risiko Kegagalan Komponen pada Excavator Komatsu 150LC dengan Metode FTA DAN FMEA DI PT. XY. *Jurnal InTent*, 4(2), 99–108.
<https://ejournal.lppm-unbaja.ac.id/index.php/intent/article/view/1759>
- Triardianto, D., & Siagian, R. M. (2025). Penerapan Metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) untuk Mengidentifikasi Kerusakan dan Usulan Kegiatan Perawatan Mesin Trinick di PT XYZ. *Jurusan Teknologi Pertanian*, 185–197.
<https://doi.org/https://doi.org/10.25047/nacia.v3i1.277>
- Vito Prisma, J., Said Salim Dahda, & Yanuar Pandu, N. (2025). Analisis Risiko Kegagalan Komponen Elektrikal Pada Mesin Overhead Crane Dengan Metode FMEA dan FTA. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 4(4), 2045–2056.
<https://doi.org/10.55826/jtmit.v4i4.1353>
- Wildan, A., Amalia, P., Anugrah, A. B., Syariah, E., Islam, A., & Siliwangi, U. (2024). Efektivitas Metode Failure Mode And Effects Analysis di Bidang Manufaktur: Kajian Literatur. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri Jurnal Taguchi*, 4(1), 14–30.
<https://doi.org/https://doi.org/10.46306/tgc.v4i1.151>