



Analisis Akar Penyebab Kegagalan *Twin Motor Actuator* pada *Fuel System* P/N FRH010041 Pesawat Airbus 330 Series di PT GMF AeroAsia, Tbk

Nadhira Nur Azizah

Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

Feti Fatonah

Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

Djoko Herwanto

Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

Alamat: Kabupaten Tangerang, Banten 15820

Korespondensi penulis: penulis.pertama@email.com

Abstract. *Safety and operational efficiency are fundamental pillars of the aviation industry, where the reliability of each aircraft component plays a vital role. One crucial component of the Airbus A330 fuel system is the Twin Motor Actuator (FRH010041), which controls the crossfeed valve between wings. Failure of this component may disrupt fuel distribution and significantly impact flight safety. This study aims to analyze the root causes of 40 repetitive failure cases recorded at PT GMF AeroAsia from 2020 to 2024. The urgency is reinforced by its classification under the Minimum Equipment List (MEL) category Repair Interval B, requiring repair within three calendar days. The research employs a qualitative Root Cause Analysis (RCA) approach, using Pareto Diagram, in-depth technician interviews, Fishbone Diagram mapping, and the 5 Why and Focus Group Discussion (FGD) techniques. Results indicate that connector corrosion is the dominant failure mode (50%), driven by the absence of corrosion inspection procedures in the Maintenance Planning Data (MPD), poor compliance with the Aircraft Maintenance Manual (AMM), and high humidity exposure in open hangars. The failure of the Twin Motor Actuator reflects systemic weaknesses in maintenance procedures, work culture, and operational environment, highlighting the need for strategic corrective actions to enhance component reliability and flight safety.*

Keywords: *5 Whys Analysis, Aircraft Corrosion, Fishbone Diagram, Root Cause Analysis, Twin Motor Actuator.*

Abstrak. Keselamatan dan efisiensi operasional merupakan pilar fundamental dalam industri penerbangan, di mana keandalan setiap komponen pesawat sangat vital. Salah satu komponen penting sistem bahan bakar Airbus A330 adalah *Twin Motor Actuator* (FRH010041) yang mengontrol katup *crossfeed* antar sayap. Kegagalannya dapat mengganggu suplai bahan bakar dan keselamatan penerbangan. Penelitian ini menganalisis akar penyebab 40 kasus kegagalan berulang pada komponen tersebut di PT GMF AeroAsia periode 2020–2024. Urgensi penelitian diperkuat oleh statusnya dalam

Received Januari 02, 2026; Accepted Februari 02, 2026; Published Maret 30, 2026

*Corresponding author, penulis.pertama@email.com

Minimum Equipment List (MEL) kategori *Repair Interval B* yang mewajibkan perbaikan dalam tiga hari kalender, karena ketidakpatuhan dapat menyebabkan pesawat tidak laik terbang dan penundaan penerbangan. Metode penelitian menggunakan *Root Cause Analysis (RCA)* dengan pendekatan kualitatif, diawali analisis *Diagram Pareto* untuk menentukan mode kegagalan utama, dilanjutkan wawancara dengan teknisi dan *engineer*. Penyebab dipetakan menggunakan *Diagram Fishbone* dalam lima kategori utama dan dianalisis dengan teknik *5 Why*, kemudian divalidasi melalui *Focus Group Discussion (FGD)*. Hasil analisis menunjukkan korosi pada konektor sebagai mode kegagalan dominan (50%), disebabkan tidak adanya inspeksi korosi dalam *Maintenance Planning Data (MPD)*, rendahnya kepatuhan terhadap *Aircraft Maintenance Manual (AMM)*, dan paparan kelembapan tinggi di hangar. Kegagalan *Twin Motor Actuator* menjadi dampak kelemahan sistemik pada prosedur perawatan, budaya kerja, dan lingkungan operasional.

Kata kunci: Analisis 5 *Why*, *Diagram Fishbone*, Korosi, *Root Cause Analysis*, *Twin Motor Actuator*.

LATAR BELAKANG

Pesawat merupakan salah satu moda transportasi yang digemari masyarakat karena mampu menempuh jarak jauh dalam waktu singkat dan nyaman. Selain itu, pesawat merupakan moda transportasi paling aman dibandingkan dengan moda lainnya (Prastyawa & N, 2017). Menurut National Safety Council (NSC), peluang meninggal saat berpergian menggunakan pesawat adalah 1:9.821, jauh lebih kecil dibandingkan dengan motor yang mencapai 1:114 (Idntimes, 2018). Keselamatan pesawat merupakan hal penting yang tidak terelakkan dengan meningkatnya pengoperasian pesawat di Indonesia. Karena itu dibutuhkan program perawatan pesawat sebagaimana tercantum pada Undang-Undang No.1 Tahun 2009 Pasal 46 Ayat (1) dan (2) bahwa setiap orang yang mengoperasikan pesawat wajib merawat pesawat dan komponennya untuk menjaga keandalan serta kelayakudaraan secara berkelanjutan (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 Tentang Penerbangan, 2009). Penelitian (Mora, 2012) menyebut tiga unsur utama keselamatan penerbangan yaitu:

1. Operator pesawat (desain, produksi, perawatan).
2. Sistem penerbangan negara (bandar udara, jalur, ATC).
3. *Airlines flight operations* yang berkaitan dengan pengendalian pesawat di maskapai.

Paradigma fundamental industri penerbangan adalah *safety*. Prinsip ini bukan hanya slogan, tetapi standar operasional yang mutlak, di mana dunia kerja penerbangan

mengutamakan keselamatan dalam setiap aspeknya. Realisasi prinsip ini bergantung pada komitmen sumber daya manusianya. Kesadaran akan keselamatan harus dibangun dan dipelihara melalui pelatihan berkelanjutan (Feti Fatonah, Rinsa Ari Widagdo & Bhima Shakti Arrafat, Dody Wahyu Widodo, 2023). Menurut Li, J.; King, S.; Jennions (2023) sistem bahan bakar pesawat terdiri dari tangki, pompa, katup, dan saluran pipa yang mengatur penyimpanan serta distribusi bahan bakar ke mesin. Sistem ini memastikan bahan bakar didistribusikan dengan tepat agar mesin beroperasi lancar.

Komponen penting meliputi *fuel tank*, *fuel pump*, *fuel filter*, dan *fuel actuator* yang mengontrol aliran bahan bakar ke *engine*. Keandalan sistem bahan bakar sangat penting karena kegagalannya dapat berakibat fatal, sehingga perawatan rutin wajib dilakukan. *Twin Motor Actuator* pada pesawat Airbus 330 berperan penting dalam mengontrol aliran bahan bakar ke mesin agar distribusinya tepat. Kegagalan komponen ini dapat menyebabkan gangguan pada sistem bahan bakar dan berpotensi menimbulkan kerusakan *engine* bahkan *accident*. Airbus 330 sangat bergantung pada komponen kritis seperti *twin motor actuator* untuk menjamin keandalan mesin dan keselamatan penerbangan. Data pada Gambar 1 menunjukkan adanya kegagalan komponen ini dalam kurun 4 tahun.



Sumber: Data Engineering PT. GMF AeroAsia (2025).

Gambar 1. Kegagalan *Twin Motor Actuator* P/N FRH010041 pada *Fuel System*

Berdasarkan data PT. GMF AeroAsia, Tbk, terdapat 40 kegagalan *Twin Motor Actuator* pada pesawat A330 selama 4 tahun yang menyebabkan *delay* dan pembatalan penerbangan. Oleh karena itu, analisis potensi kegagalan *Twin Motor Actuator* penting untuk menjamin keselamatan dan efisiensi operasional. Dengan memahami penyebab umum kegagalan, langkah perbaikan dan pencegahan dapat dirancang untuk mengurangi

dampak negatif. Penulis akan melakukan analisis mendalam menggunakan metode *Root Cause Analysis (RCA)*. Menurut (Hauvel, 2004), *Root Cause Analysis* adalah proses untuk menyelidiki dan mengkategorikan akar penyebab kejadian yang berdampak pada keselamatan, kualitas, dan keandalan. RCA membantu mengidentifikasi apa, bagaimana, dan mengapa suatu kejadian terjadi serta mencegah terulangnya di masa depan. Berdasarkan *Master Minimum Equipment List (MEL)* pesawat Airbus A330, *Twin Motor Actuator* termasuk kategori *repair interval B* yang harus diperbaiki dalam waktu 3 hari kalender berturut-turut.

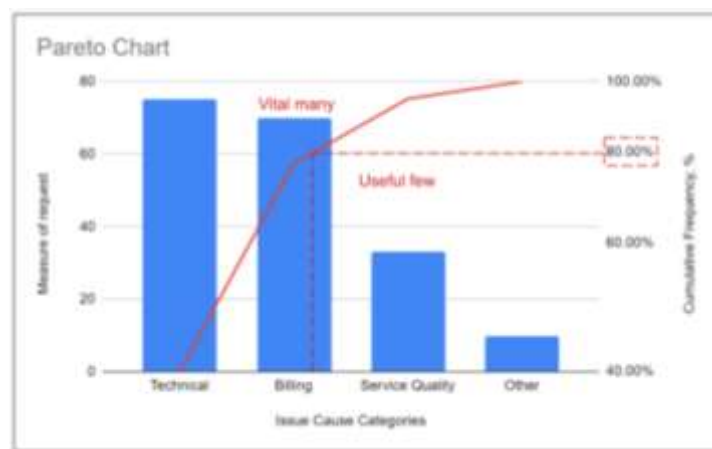
METODE PENELITIAN

Metode penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kualitatif. Dalam buku *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*, Prof. Dr. Sugiyono (2013) menjelaskan bahwa metode kualitatif merupakan metode yang relatif baru karena popularitasnya meningkat dalam beberapa waktu terakhir. Metode ini dikenal juga dengan sebutan *postpositivisme* karena berpijak pada paradigma filsafat tersebut, serta disebut metode *artistik* karena pelaksanaannya fleksibel dan tidak kaku. Selain itu, metode ini juga dikenal sebagai metode *interpretatif* karena hasil penelitiannya lebih menekankan pada makna dan penafsiran terhadap data yang diperoleh di lapangan.

Penulis menggunakan metode kualitatif dengan bantuan *tools* dari *Root Cause Analysis* yaitu *diagram pareto*, *fishbone diagram*, *5 Why Analysis*, serta usulan pencegahan menggunakan metode *5W+1H*. Data diperoleh dari survei kepada teknisi dengan rating A330 Series untuk menghasilkan faktor-faktor penyebab dominan, karena tujuan penelitian ini adalah mengetahui akar masalah dari kegagalan *Twin Motor Actuator P/N FRH010041*. Data kualitatif diperoleh melalui wawancara, diskusi, atau observasi untuk mengetahui kualitas objek yang diteliti. Kesimpulan penelitian kualitatif menghadirkan temuan baru berupa penjelasan atau deskripsi yang memperjelas fenomena yang belum dipahami, serta dapat mengungkap hubungan kausal, membangun hipotesis, atau mengembangkan teori (Sugiyono, 2023).

Setelah data terkumpul melalui berbagai teknik tersebut, langkah berikutnya adalah melakukan pengolahan dan analisis data. Tahap ini bertujuan untuk menafsirkan hasil

temuan agar dapat menjawab rumusan masalah penelitian secara sistematis dan mendalam, diantaranya menggunakan diagram Pareto, diagram *Fishbone*, *5 Why Analysis*, dan metode *5W + 1H*. Dalam penelitian ini, metodologi analisis data yang digunakan adalah Diagram Pareto. Sejalan dengan penelitian (Rohani & Suhartini, 2021), Diagram Pareto digunakan untuk mengklasifikasikan berbagai permasalahan berdasarkan tingkat kepentingannya. Prinsip dasarnya adalah memisahkan penyebab paling signifikan dari yang kurang signifikan, sehingga secara visual menunjukkan masalah paling dominan yang memerlukan perhatian seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



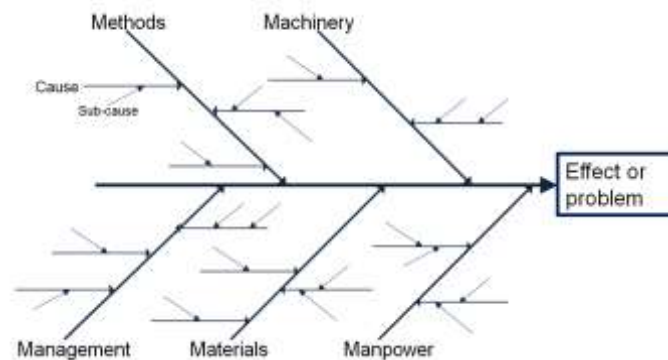
Sumber: PlanyWay (2025).

Gambar 2. Diagram Pareto

Proses pengolahan data dimulai dengan mengidentifikasi semua mode kegagalan yang relevan, lalu menghitung persentase risiko atau frekuensi kejadiannya berdasarkan data observasi. Penerapan analisis ini penting karena memungkinkan identifikasi objektif terhadap penyebab kegagalan dengan persentase kejadian tertinggi. Faktor yang paling dominan dijadikan prioritas utama agar tindakan korektif dapat memberikan dampak signifikan dalam mengurangi masalah, sesuai dengan Prinsip Pareto 80/20. Integrasi antara data kuantitatif dan kualitatif dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap. Data kuantitatif berupa 40 kasus kegagalan Twin Motor Actuator P/N FRH010041 periode 2020–2024 terlebih dahulu dianalisis menggunakan Diagram Pareto untuk mengidentifikasi mode kegagalan dominan berdasarkan frekuensi kejadian.

Hasil tersebut kemudian menjadi dasar dalam menentukan fokus wawancara mendalam, sehingga eksplorasi kualitatif diarahkan pada mode kegagalan dengan persentase tertinggi. Selanjutnya, temuan akar penyebab yang diperoleh dari wawancara,

Diagram Fishbone, dan 5 Why Analysis dibandingkan dengan pola data kuantitatif yang telah dianalisis sebelumnya. Proses ini memastikan bahwa kesimpulan penelitian tidak hanya didasarkan pada frekuensi kejadian, tetapi juga diperkuat oleh penjelasan teknis dan pengalaman praktis di lapangan. Validasi akhir dilakukan melalui Focus Group Discussion (FGD) untuk memperoleh kesepakatan bersama mengenai akar masalah dan usulan tindakan pencegahan.



Sumber: Avatour (2025).

Gambar 3. Diagram *Fishbone*

Diagram Fishbone pada Gambar 3 diatas merupakan alat visualisasi untuk memetakan hubungan sebab-akibat dari suatu permasalahan secara terstruktur. Diagram ini mengelompokkan penyebab utama dan subpenyebab ke dalam bentuk menyerupai kerangka ikan, sehingga memudahkan identifikasi akar masalah secara sistematis dan komprehensif. (Wiranto, 2025). Setelah mode kegagalan dominan teridentifikasi, penelitian dilanjutkan dengan pendekatan kualitatif melalui wawancara mendalam dengan narasumber relevan. Data dari wawancara kemudian dianalisis menggunakan Diagram Fishbone untuk menemukan akar penyebab utama dari kegagalan komponen *Twin Motor Actuator P/N FRH010041* pada Pesawat Airbus 330.

Metodologi 5 *Whys* mengadopsi istilah “tindakan penanggulangan” (*countermeasures*) untuk membedakannya dari solusi. Tindakan pencegahan menargetkan akar masalah agar tidak terulang, sedangkan solusi hanya mengatasi gejalanya. Pendekatan ini lebih berkelanjutan dalam penyelesaian masalah. (Panjaitan et al., 2024) Hasil dari Diagram Fishbone yang berisi potensi akar penyebab kemudian

divalidasi menggunakan *5 Why Analysis*. Tujuan utamanya adalah memperkuat pernyataan yang diperoleh dari sesi wawancara sebelumnya.

Metode *5W+1H* bertujuan memperoleh deskripsi masalah secara terperinci dengan menjawab pertanyaan terbuka (*What, Where, When, Who, Which, dan How*). Pendekatan ini memastikan masalah terdefinisi dengan baik sebelum dicari solusinya. (Knop, 2018). Hasil dari Diagram Fishbone dan *5 Why Analysis* kemudian divalidasi melalui *Focus Group Discussion (FGD)* yang melibatkan teknisi, engineer, dan Project Leader di PT. GMF AeroAsia, Tbk. Tujuan FGD adalah merumuskan usulan tindakan pencegahan paling efektif. Setiap usulan disusun secara terstruktur menggunakan kerangka kerja *5W+1H* untuk menghasilkan rencana yang jelas, terperinci, dan dapat diimplementasikan. Secara spesifik, narasumber yang terlibat dalam penelitian ini terdiri dari 2 Certifying Staff Airbus A330, 3 Senior Technician dengan pengalaman minimal 5 tahun pada sistem flight control, 1 Engineer Reliability, dan 1 Project Leader Base Maintenance. Seluruh narasumber memiliki type rating Airbus A330 Series serta pengalaman langsung dalam penanganan komponen Twin Motor Actuator P/N FRH010041. Pemilihan narasumber dilakukan secara purposive berdasarkan kompetensi dan keterlibatan langsung terhadap kasus kegagalan yang diteliti untuk menjamin validitas dan kredibilitas data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses analisis ini dilakukan wawancara dan diskusi dengan *certifying staff* dan *senior technician wide body maintenance hangar 3* pemegang *type rating* pesawat Airbus 330 dan diolah menggunakan tools diagram *fishbone* dan *5 why analysis* yang masing-masing memiliki peran penting dalam mengidentifikasi dan memahami akar penyebab kegagalan. Diagram *fishbone* juga dikenal sebagai diagram sebab-akibat yang digunakan untuk memetakan berbagai faktor yang dapat berkontribusi pada kegagalan *twin motor actuator*. Lalu, *5 why analysis* yang digunakan untuk menggali lebih dalam setiap penyebab spesifik yang diidentifikasi dalam diagram *fishbone*.

Analisa Diagram Pareto

Dalam penelitian ini diagram pareto digunakan untuk mengidentifikasi dan memvisualkan penyebab kegagalan yang paling sering terjadi pada *Twin Motor Actuator*.

Dengan menggunakan diagram pareto dapat dilihat secara jelas penyebab utama yang menjadi persentase tertinggi terhadap total kegagalan. Data yang dianalisis merupakan hasil dari 40 kasus kegagalan *Twin Motor Actuator*, berdasarkan data engineering yang diperoleh dari unit engineering PT. GMF AeroAsia Tbk melalui dokumen *unscheduled component removal twin motor actuator* dengan *Part Number* (P/N) FRH010041. Pada masing-masing kategori kerusakan akan diklasifikasikan berdasarkan frekuensi kemunculannya, dan persentasenya dihitung terhadap total kasus. Berikut adalah hasil perhitungannya:

- *Connector Corrosion* $p = \left(\frac{20}{40}\right) \times 100\% = 50\%$
- *Connector Pin Squashed* $p = \left(\frac{8}{20}\right) \times 100\% = 20\%$
- *PCB To Be Replaced* $p = \left(\frac{4}{20}\right) \times 100\% = 10\%$
- *Seals Worn* $p = \left(\frac{8}{20}\right) \times 100\% = 20\%$

Untuk memahami lebih dalam kompleksitas masalah kegagalan *Twin Motor Actuator*, identifikasi jumlah kejadian saja tidaklah cukup. Langkah berikutnya adalah melakukan analisis yang lebih rinci dengan mencari penyebab spesifik di balik setiap insiden kegagalan. Pendekatan ini penting untuk beralih dari sekadar mengetahui "apa" yang gagal menjadi memahami "mengapa" kegagalan itu terjadi.

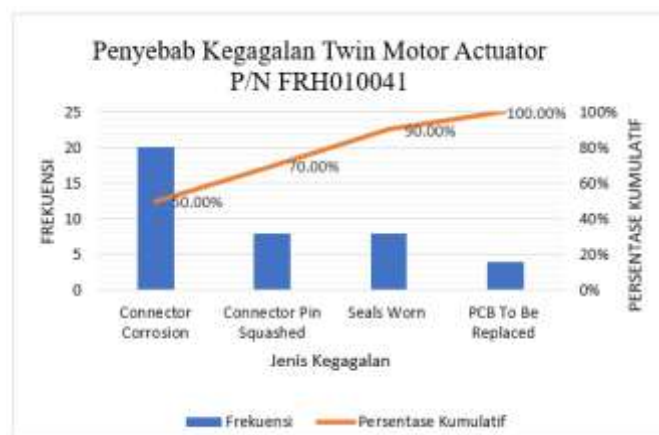
Tabel 1. Hasil Perhitungan Diagram Pareto Pada Kegagalan *Twin Motor Actuator* P/N FRH010041

No	Penyebab kegagalan Twin Motor Actuator pada fuel system Airbus 330 P/N FRH010041	Frekuensi	Presentase	Presentase Kumulatif
1.	<i>Connector Corrosion</i>	20	50,00%	50,00%
2.	<i>Connector Pin Squashed</i>	8	20,00%	70,00%
3.	<i>PCB To Be Replaced Due To Torn Board</i>	4	10,00%	90,00%
4.	<i>Seals Worn</i>	8	20,00%	100,00%
Total Kejadian		40	100,00%	

Sumber: Data Penelitian Penulis (2025).

Tabel 1 menyajikan data penyebab kegagalan secara mendetail untuk komponen *Twin Motor Actuator* dengan *Part Number* (P/N) FRH010041 pada sistem bahan bakar Airbus A330. Di dalam tabel tersebut, setiap kategori penyebab tidak hanya dicatat

frekuensinya, tetapi juga dianalisis kontribusinya secara kuantitatif. Perhitungan persentase individual dari total kejadian dan persentase kumulatif dilakukan secara sistematis. Metode ini merupakan langkah awal dalam penerapan analisis Pareto, yang bertujuan untuk memberikan gambaran berbasis data yang jelas mengenai besaran pengaruh dari masing-masing faktor penyebab. Dengan demikian, akan didapat hasil secara objektif dan memprioritaskan faktor-faktor yang paling dominan, yang nantinya akan menjadi fokus utama dalam perumusan tindakan perbaikan.



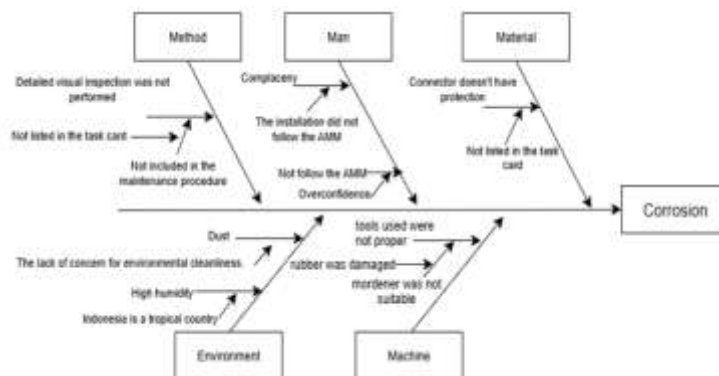
Sumber: Data Penelitian Penulis (2025).

Gambar 4. Diagram Pareto Kegagalan *Twin Motor Actuator* P/N FRH010041

Setelah perhitungan persentase dan persentase kumulatif selesai, langkah berikutnya adalah mengaplikasikan Diagram Pareto. Gambar 4 memperlihatkan hasil diagram Pareto yang telah dibuat. Pada diagram ini, sumbu horizontal (x) mempresentasikan berbagai kategori penyebab kegagalan *Twin Motor Actuator*. Sementara itu, sumbu vertikal (y) menunjukkan frekuensi kejadian dari setiap penyebab serta persentase kumulatif yang dihasilkan. Garis kumulatif yang membentang pada diagram visual menunjukkan akumulasi persentase total kegagalan. Berdasarkan hasil perhitungan pada Diagram Pareto di Gambar 4 dan Tabel 1 maka dapat disimpulkan bahwa penyebab kegagalan *Twin Motor Actuator* yang paling dominan adalah kerusakan pada *connector corrosion* dengan bobot sebesar 50% dari total kegagalan yang terjadi dalam rentang waktu 4 tahun sebagai faktor yang sering menyebabkan *Twin Motor fault*, Adapun penyebab kegagalan *twin motor actuator* yang lebih kecil yaitu *connector pin squashed*, *seals worn*, dan *PCB to be replaced*.

Analisa Diagram *Fishbone*

Dalam penelitian ini, dilakukan wawancara dan diskusi dengan *certifying staff* dan *senior technician wide body maintenance hangar 3* pemegang *type rating* pesawat Airbus 330 pada tanggal 25 juli 2025 melalui zoom. Penentuan faktor dan analisis pada setiap faktornya dengan metode *fishbone* ini akan digunakan untuk mencari solusi untuk permasalahan tersebut, Hasil dari proses tersebut dirumuskan dalam diagram *fishbone* yang dapat dilihat sebagai berikut.

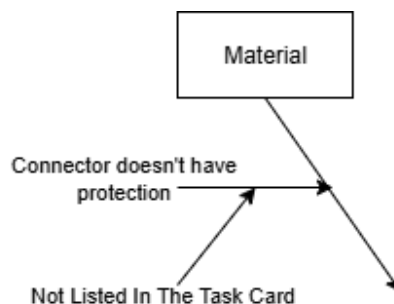


Sumber: Data Penelitian Penulis (2025).

Gambar 5. Hasil Diagram *Fishbone* pada *Twin Motor Actuator* P/N FRH010041

Setelah dilakukan pengkategorian pada Gambar 5 dengan Diagram *Fishbone* dapat disimpulkan faktor-faktor eksternal yang menyebabkan *Twin Motor Actuator Corrosion* seperti *Material*, *Man*, *Method*, *Machine*, dan *Environment*. ini juga berperan terhadap terjadinya *Twin Motor Actuator Corrosion* yang merupakan penyebab kegagalan tertinggi.

1. Material

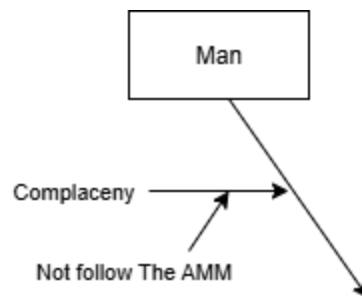


Sumber: Data Penelitian Penulis (2025).

Gambar 6. Hasil Diagram *Fishbone* untuk Faktor *Material*

Dalam hal faktor material, kegagalan komponen, khususnya *Twin Motor Actuator*, adalah kurangnya proteksi pada *connector* seperti pada Gambar 6. Hal ini terjadi karena prosedur tersebut tidak tercantum dalam *task card* atau tidak tersedia sama sekali. Akibatnya, komponen menjadi lebih rentan terhadap korosi dan kelembapan di lingkungan, yang mempercepat kerusakan dan mengurangi umur pakai komponen.

2. Man



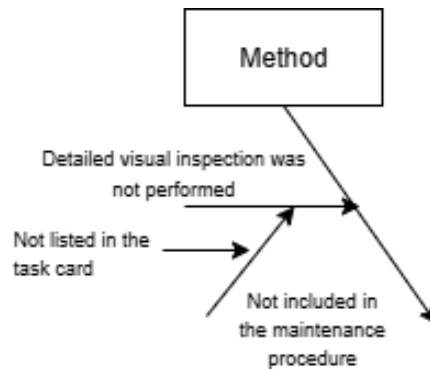
Sumber: Data Penelitian Penulis (2025).

Gambar 7. Hasil Diagram *Fishbone* untuk Faktor *Man*

Pada Gambar 7, dari segi faktor manusia (man), dapat disimpulkan bahwa terlalu percaya diri atau sikap *complacency* di kalangan teknisi dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap terjadinya korosi pada *Twin Motor Actuator*, terutama ketika hal ini menyebabkan kurangnya perhatian terhadap prosedur inspeksi yang ketat atau pengabaian tanda-tanda awal kerusakan yang seharusnya segera ditangani.

Berdasarkan hasil wawancara dan FGD, sikap *complacency* tidak hanya dipengaruhi oleh faktor tekanan waktu, tetapi juga oleh kebiasaan kerja yang terbentuk dari pengalaman panjang tanpa temuan signifikan pada komponen serupa. Beberapa narasumber menyampaikan bahwa pola supervisi yang lebih berfokus pada penyelesaian target pekerjaan dibandingkan pada kualitas inspeksi detail turut membentuk budaya kerja yang kurang kritis terhadap potensi kerusakan tersembunyi. Selain itu, komunikasi tim yang cenderung informal dalam pelaporan temuan minor menyebabkan indikasi awal korosi tidak selalu terdokumentasi secara sistematis. Konteks budaya kerja ini memperkuat temuan bahwa faktor manusia berperan signifikan terhadap munculnya kegagalan komponen.

3. Method



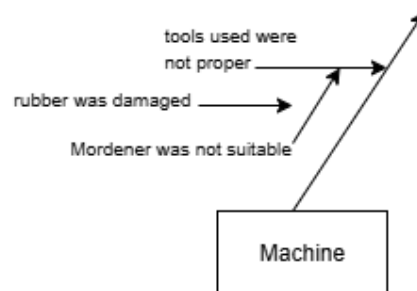
Sumber: Data Penelitian Penulis (2025).

Gambar 8. Hasil Diagram *Fishbone* untuk Faktor *Method*

Pada Gambar 8, faktor metode (method), aspek yang mempengaruhi kegagalan komponen, khususnya *Twin Motor Actuator*, adalah tidak dilakukannya *detailed visual inspection* yang menyeluruh. Ini terjadi karena petunjuk tersebut tidak tersedia dalam task card dan tidak tercantum dalam prosedur perawatan yang seharusnya menjadi panduan utama. Akibatnya, tidak ada pengawasan menyeluruh terhadap kondisi komponen dan risiko kerusakan meningkat.

Hasil diskusi lebih lanjut menunjukkan bahwa secara prosedural terdapat mekanisme formal di PT GMF AeroAsia Tbk untuk mengusulkan penambahan atau revisi task ke dalam Maintenance Planning Document (MPD) melalui kajian engineering dan reliability analysis. Namun, pada kasus ini mekanisme tersebut belum dimanfaatkan karena komponen Twin Motor Actuator tidak termasuk item dengan tren kegagalan tinggi pada periode sebelumnya, sehingga belum dianggap prioritas untuk evaluasi program perawatan. Hal ini menunjukkan adanya celah dalam proses umpan balik antara data reliability dan pembaruan program maintenance, yang berkontribusi terhadap tidak tercantumnya *detailed visual inspection* dalam task card.

4. Machine

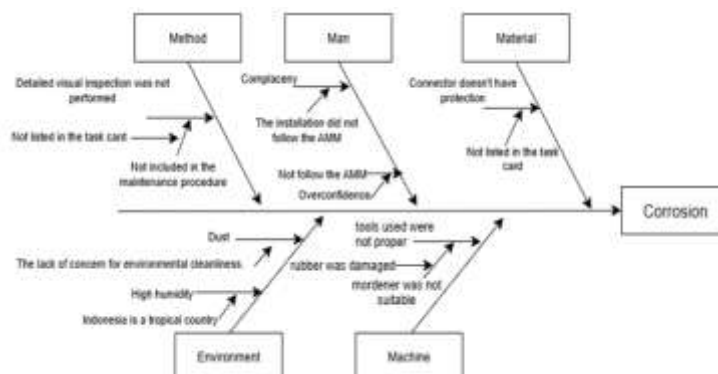


Sumber: Data Penelitian Penulis (2025).

Gambar 9. Hasil Diagram *Fishbone* untuk Faktor Machine

Salah satu penyebab utama kegagalan pada *Twin Motor Actuator* pada Gambar 9 juga dapat ditelusuri dari aspek *machine*, khususnya berkaitan dengan alat bantu atau *tools* yang digunakan selama proses perawatan atau instalasi. Dalam hal ini, ditemukan bahwa pada *mordener* yang digunakan untuk menangani komponen telah mengalami kerusakan, seperti aus, getas, atau tidak lagi memiliki elastisitas yang memadai. Kondisi ini menyebabkan penjepitan atau penempatan actuator menjadi tidak optimal, sehingga berpotensi menimbulkan tekanan berlebih atau pergeseran saat proses instalasi berlangsung.

5. Environment



Sumber: Data Penelitian Penulis (2025).

Gambar 10. Hasil Diagram *Fishbone* pada *Twin Motor Actuator* P/N FRH010041

Dari segi faktor lingkungan, dapat disimpulkan bahwa kondisi operasional di sekitar komponen memegang peranan krusial sebagai pemicu utama kerusakan akibat korosi. Korosi pada dasarnya bukanlah sekadar proses pasif, melainkan sebuah reaksi

elektrokimia yang aktif dan merusak, yang terjadi ketika tiga elemen kunci bertemu: anoda (permukaan logam yang terkorosi), katoda (permukaan logam lain), dan sebuah elektrolit.

Dalam konteks ini, uap air (H₂O) yang terdapat di udara dengan tingkat kelembapan tinggi berfungsi sebagai elektrolit yang sempurna. Ketika permukaan komponen tidak dilapisi lapisan pelindung anti-karat, area-area sensitif seperti konektor listrik, housing actuator, dan permukaan logam lainnya menjadi terekspos. Paparan konstan terhadap uap air ini memungkinkan terbentuknya sel korosi mikroskopis pada permukaan logam.

5 Why Analysis

Tabel 2. 5 Why Analysis

Indikator	No	Why	Why	Why	Why	Why
Man	1.1	Complacency	Kurang teliti	Meremehkan pekerjaan	Merasa sudah bisa mengerjakan sendiri	Belum mengetahui dampak kegagalan <i>Twin motor actuator</i>
	1.2	Saat pemasangan <i>connector</i> tidak di <i>spray</i> freon	Tidak mengikuti <i>Aircraft Maintenance Manual</i>	overconfidence	Pekerjaan menumpuk	Kurang personel
Method	2.1	Tidak dilakukan detail visual inspection	Tidak ada inspeksi korosi berkala	Tidak tercantum di <i>task card</i>	Tidak tercantum di <i>maintenance program</i>	Tidak ada di Maintenance Planning Data
Material	3.1	Material rentan korosi	Lapisan pelindung material buruk	Connector tidak memiliki protection	Tidak tercantum di <i>task card</i>	Tidak tercantum di MP
	3.2	Part robbing	Tidak ada safety stock	Rotable part	High Price	Proses pengiriman

Indikator	No	Why	Why	Why	Why	Why
Machine	4.1	Tools yang digunakan tidak proper	Tidak dicheck sebelum digunakan	Terburu-buru	Mengerjakan pekerjaan yang lain	TAT pesawat singkat
Environ- ment	5.1	Kelembapan udara yang tinggi	Kondisi hangar terbuka	Tidak ada hangar door	Perubahan hangar capacity	Narrow body to Wide body
	5.2	Dust	Tidak dibersihkan	Tidak ada task untuk cleaning	Tidak tercantum di task card	Tidak ada di Maintenance Program

Sumber: Data Penelitian Penulis (2025).

Dari hasil analisis yang sudah dilakukan menggunakan diagram *fishbone* dan 5 *why analysis* pada Gambar 10 dan Tabel 2 Dapat disimpulkan bahwa akar penyebab masalah dari *corrosion* pada kegagalan *Twin Motor Actuator* disebabkan faktor *man*, *method*, *machine*, *material* dan *environment*. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

a) Faktor *Man*

Faktor *Man* berperan sangat dominan dalam proses perawatan dan operasional *Twin Motor Actuator*. Dalam hal ini, teknisi dan mekanik yang bertanggung jawab terhadap perawatan memiliki kontribusi besar akan keberhasilan atau kegagalan sistem. Analisis menunjukkan bahwa kurangnya pengetahuan dan adanya *complacency*, atau rasa puas diri yang berlebihan menjadi akar penyebab utama pada faktor *man*. Penyebab utama yang teridentifikasi adalah tidak dilakukannya penyemprotan *freon* pada konektor saat instalasi, tahap krusial yang seharusnya memastikan kebersihan dan konektivitas secara optimal dapat dipicu oleh ketidakpatuhan terhadap prosedur yang tercantum dalam *aircraft maintenance manual* yang mengindikasikan penyimpangan dari standar operasional yang berlaku. Adapun sikap *overconfidence* yang membuat kondisi lingkungan kerja dimana pekerjaan yang menumpuk, menciptakan tekanan waktu dan potensi untuk memotong prosedur yang dianggap remeh demi efisiensi waktu. Pada akhirnya penumpukan pekerjaan dapat dihubungkan dengan kurangnya personel yang memadai untuk menangani *load* pesawat di hangar.

b) Faktor *Method*

Pada faktor *method* penyebab awal kegagalan adalah tidak dilakukannya *detail visual inspection*, yaitu sebuah langkah pemeriksaan visual menyeluruh untuk mendeteksi kerusakan, keausan, dan potensi masalah sistem dan komponen pada pesawat. Hal ini merujuk kepada tidak ada inspeksi korosi secara berkala yang spesifik untuk memantau degradasi material, hal tersebut terjadi karena prosedur ini tidak tercantum dalam *task card* yang seharusnya menjadi referensi utama bagi teknisi. Akar terdalam dari faktor *method* adalah prosedur ini tidak ada dalam *Maintenance Planning Data* yaitu dokumen dasar yang berisi informasi dan persyaratan pemeliharaan yang ditetapkan oleh *manufacture* sehingga mengakibatkan prosedur ini terabaikan dari semua siklus perencanaan dan pemeliharaan.

c) Faktor *Material*

Faktor *material* merupakan bahan baku utama dari proses perawatan *twin motor actuator* analisis menunjukkan awal masalah adalah material komponen yang rentan korosi dan *part robbing*. Kerentanan komponen diperparah oleh lapisan pelindung material yang buruk, menunjukkan adanya defisiensi dalam proses pelapisan atau pemilihan jenis pelindung yang tidak optimal, hal tersebut diperparah karena konektor tidak memiliki perlindungan terhadap lingkungan hal tersebut dikarenakan tidak adanya persyaratan atau prosedur yang mengatur dalam *maintenance program*.

d) Faktor *Machine*

Pada faktor *machine* disebabkan oleh penggunaan tools yang tidak proper hal ini dijelaskan oleh fakta bahwa *tools* tersebut tidak di *check* sebelum digunakan, menunjukkan ketiadaan prosedur yang memverifikasi atau kelalaian dalam pemakaian. Alasan mengapa *tools* tidak di *check* sebelum digunakan adalah karena adanya kondisi terburu-buru dalam proses kerja hal ini terjadi karena personel seringkali mengerjakan pekerjaan yang lain secara bersamaan atau *Turn Around Time* yang singkat. Waktu yang sangat terbatas untuk menyelesaikan *maintenance* memaksa personel untuk bekerja dengan waktu yang singkat dan berpotensi mengorbankan ketelitian dalam setiap tahapan, termasuk pemeriksaan *tools*.

e) Faktor *Environment*

Pada faktor *environment* kelembapan udara yang tinggi dapat mempercepat degradasi komponen, secara langsung disebabkan oleh hangar yang beroperasi dalam kondisi terbuka sehingga terpapar oleh kondisi cuaca ekstrem. Ketiadaan *hangar door* disebabkan oleh transisi operasional dari pesawat *narrow body* ke *wide body*, yang memerlukan ruang dan fasilitas yang lebih besar dan berbeda, namun adaptasi infrastruktur pendukung tidak sejalan dengan peningkatan kebutuhan tersebut, sehingga meninggalkan hangar dalam kondisi rentan terhadap pengaruh lingkungan.

Usulan Pencegahan

Setelah diketahui akar permasalahan dari *corrosion*, maka langkah selanjutnya adalah membuat rumusan perbaikan untuk mengatasi masalah tersebut dengan menggunakan alat *root cause analysis* yaitu 5W+1H. Data 5W+1H ini didapatkan dari hasil Focus Group Discussion (FGD) dengan kru hangar 3 yang terdiri dari *Project Manager, Project Leader, Engineer, Planner* dan tiga orang teknisi pesawat Airbus 330. Kegiatan FGD ini dilaksanakan pada tanggal 26 Juli 2025 di Samsat Room Hangar 3 PT.GMF Aeroasia, Tbk seperti terlampir pada Lampiran Hasil dari 5W+1H mengenai *connector corrosion* sebagai berikut.

1. Penjelasan Usulan Perbaikan 5W+1H

Berdasarkan Tabel 2 di atas, usulan tindakan perbaikan dapat dijabarkan sebagai berikut:

a) Faktor *Man* (Manusia)

Akar masalahnya adalah *complacency* dan kurangnya pemahaman dampak. Solusinya berfokus pada penguatan prosedur melalui briefing rutin oleh Supervisor dan peningkatan kompetensi jangka panjang melalui recurrent training serta kampanye visual di area kerja.

b) Faktor *Method* (Metode)

Akar masalahnya adalah ketiadaan prosedur inspeksi korosi di dokumen perencanaan tertinggi (MPD). Solusi jangka pendek adalah dengan membuat kebijakan internal melalui Engineering Order untuk menambahkan task inspeksi. Solusi jangka panjang adalah mengusulkan perubahan ini kepada pabrikan agar menjadi standar global.

c) Faktor Material

Akar masalahnya adalah kurangnya proteksi pada konektor. Solusi yang diusulkan adalah tindakan praktis dengan menambahkan langkah aplikasi lapisan anti korosi pada task card yang ada, yang didukung oleh ketersediaan material dari unit logistik.

d) Faktor *Machine* (Peralatan)

Akar masalahnya adalah penggunaan tools yang tidak layak akibat tekanan waktu (TAT singkat). Solusinya adalah kombinasi antara peningkatan kontrol terhadap kondisi tools melalui inspeksi dan pelabelan, serta perbaikan sistem kerja dengan checklist untuk memastikan tools selalu dicek sebelum digunakan.

e) Faktor *Environment* (Lingkungan)

Akar permasalahan pada faktor *environment* adalah paparan lingkungan akibat infrastruktur hangar yang belum sepenuhnya adaptif. Solusi jangka pendek adalah membuat prosedur proteksi tambahan. Solusi strategis jangka panjang adalah mengkaji modifikasi infrastruktur hangar untuk mengatasi masalah secara permanen. Dengan menerapkan usulan perbaikan ini secara terstruktur, diharapkan potensi kegagalan Twin Motor Actuator akibat korosi dapat dikurangi secara signifikan, sehingga meningkatkan keandalan dan keselamatan operasional pesawat Airbus 330 di PT. GMF Aeroasia. Berdasarkan temuan dan kesimpulan dari penelitian ini, berikut adalah beberapa saran yang diajukan kepada PT GMF AeroAsia Tbk untuk meningkatkan keandalan Twin Motor Actuator dan mencegah kegagalan berulang di masa mendatang: Peningkatan Prosedur dan Dokumentasi Perawatan: Merevisi dan memperbarui dokumen perawatan, seperti *Maintenance Planning Data* (MPD), untuk secara jelas menyertakan prosedur inspeksi korosi yang spesifik dan berkala. Prosedur ini harus diintegrasikan ke dalam *task card* agar menjadi bagian dari rutinitas kerja teknisi. Hal ini akan memastikan bahwa inspeksi penting tidak terlewatkan dan sesuai dengan standar yang ditetapkan.

- Pelatihan dan Pengawasan Sumber Daya Manusia: Mengintensifkan program pelatihan berkelanjutan (*recurrent training*) bagi teknisi untuk meningkatkan pemahaman tentang dampak korosi dan bahaya dari sikap *complacency* atau *overconfidence*. Supervisor juga perlu melakukan *pre-job briefing* yang menekankan kembali langkah-langkah kritis dalam *task card* sebelum memulai pekerjaan untuk mencegah ketidakpatuhan terhadap prosedur.

- Manajemen Peralatan dan Kelengkapan Proteksi: Mengimplementasikan kontrol yang lebih ketat terhadap kondisi peralatan (*tools*) yang digunakan. Dianjurkan untuk mengadakan inspeksi rutin pada *tools* di gudang dan memberikan label *serviceable* atau *unserviceable* untuk memastikan hanya peralatan yang layak digunakan. Selain itu, perlu ditambahkan langkah kerja dalam *task card* untuk aplikasi lapisan anti-korosi pada permukaan konektor *Twin Motor Actuator* setelah pemasangan, guna memberikan perlindungan yang memadai terhadap lingkungan.
- Manajemen Peralatan dan Kelengkapan Proteksi: Mengimplementasikan kontrol yang lebih ketat terhadap kondisi peralatan (*tools*) yang digunakan. Dianjurkan untuk mengadakan inspeksi rutin pada *tools* di gudang dan memberikan label *serviceable* atau *unserviceable* untuk memastikan hanya peralatan yang layak digunakan. Selain itu, perlu ditambahkan langkah kerja dalam *task card* untuk aplikasi lapisan anti-korosi pada permukaan konektor *Twin Motor Actuator* setelah pemasangan, guna memberikan perlindungan yang memadai terhadap lingkungan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis, mode kegagalan paling dominan pada Twin Motor Actuator P/N FRH010041 adalah *Connector Corrosion* sebesar 50%, dengan akar penyebab yang bersifat multifaktorial meliputi faktor manusia, metode, material, mesin, dan lingkungan. Untuk meminimalkan kegagalan berulang, rekomendasi utama yang diusulkan adalah penambahan prosedur Detailed Visual Inspection (DVI) dan inspeksi korosi berkala ke dalam task card serta pengusulan revisi Maintenance Planning Data (MPD), penguatan kepatuhan terhadap Aircraft Maintenance Manual (AMM) melalui peningkatan supervisi dan budaya kerja yang lebih disiplin, evaluasi beban kerja dan kecukupan personel guna mengurangi tekanan waktu, memastikan kelayakan penggunaan tools sebelum pekerjaan, serta pengendalian faktor lingkungan seperti kelembapan hangar untuk menekan potensi korosi. Implementasi langkah-langkah prioritas ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan komponen dan menjaga keselamatan operasional pesawat.

DAFTAR REFERENSI

- Avatour. (2025). *The benefits of fishbone diagram in continuous improvement*. Retrieved from <https://avatour.com/article/the-benefits-of-fishbone-diagram-in-continuous-improvement>
- Feti, F., Rinosa, A. W., Andri, K., Bhima, S. A., Dody, W. W. & Ayu, K. P. (2023). Pelatihan safety culture and human factor guna menambah wawasan dan pengetahuan untuk siswa SMK Penerbangan Dirghantara. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (JPKM) Langit Biru*, 4(01), 1-7 <https://doi.org/https://doi.org/10.54147/jpkm.v4i01>
- Hauvel, J. J. R. & Vanden, L. N. (2004). Root cause analysis for beginners. *Quality Progress*, 37(7), 45–56.
- Knop, K., & Mielczarek, K. (2018). Using 5W-1H and 4M methods to analyse and solve the problem with the visual inspection process: Case study. *MATEC Web of Conferences*, 183, 03006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818303006>
- Mora, M. (2012). Telaahan literatur tentang program perawatan pesawat udara. *Warta Ardha*, 38(4), 356-372.
- Panjaitan, N., Ramadhana, F., & Davin, C. (2024). Analysis of causes of defects and repair solutions on Jerry can products using root cause analysis (RCA) and cause effect diagrams. *Journal of Industrial Engineering Management*, 9(1), 77–85. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33536/jiem.v9i1.1709>
- Pemerintah Indonesia. (2009). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan*.
- Prastyawan, A. D. (2017). Dinamika industri pesawat terbang Indonesia tahun 1966-1998. *Avatara: Jurnal Pendidikan Sejarah*, 5(1).
- Rohani, Q. A., & Suhartini, S. (2021). Analisis kecelakaan kerja dengan menggunakan metode risk priority number, diagram pareto, fishbone, dan five whys analysis. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan (SENASTITAN)*, 1(1), 136-143.
- Sugiyono. (2013). *Metode Kualitatif Kuantitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono, Prof. Dr. (2023). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Wiranto, A. (2025). Safety analysis using seven basic quality tools fishbone diagram. *INFOKUM*, 13(03), 548-560.