



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.

Muhammad Arif Setiyanto

Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

Wahyu Cakra Nugraha

Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

Dody Herdianto

Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

Alamat: Kabupaten Tangerang, Banten 15820

Korespondensi penulis: masetiyanto56@gmail.com

Abstract. *This study aims to analyze the causes of Power Conditioning Module (PCM) component failure in the Thrust Reverser system of the Rolls-Royce Trent-700 engine used on the Airbus A330-300 aircraft at PT GMF AeroAsia, Tbk. The thrust reverser system is crucial for aircraft braking; thus, its failure affects flight safety and operational efficiency. Based on defect fault data from 2019–2024, there were 68 cases of thrust reverser failure, with 21 cases related to PCM malfunction. The analysis method used a Pareto diagram to identify major causes, followed by Root Cause Analysis (RCA) using a fishbone diagram and 5 Why's Analysis. The results show that corrosion on electrical connectors is the main cause of PCM failure, contributing 67% of total cases. Contributing factors include human (lack of technician compliance), method (improper use of PPE and tightening), machine (inadequate tools), and material (corrosion-prone components). The study recommends preventive actions such as regular training on EWIS, Human Factors, and Safety Precautions, strict PPE enforcement, periodic tool inspection, and coordination with manufacturers for improved maintenance guidance. Implementing these recommendations is expected to reduce PCM failure rates and enhance the reliability of the thrust reverser system on the Airbus A330-300 aircraft.*

Keywords: *Airbus A330-300, Power Conditioning Module, Rolls-Royce Trent-700, Root Cause Analysis, Thrust Reverser System.*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan menganalisis penyebab kegagalan komponen Power Conditioning Module (PCM) pada sistem Thrust Reverser Engine Rolls-Royce Trent-700 yang digunakan pada pesawat Airbus A330-300 di PT GMF AeroAsia, Tbk. Sistem thrust reverser merupakan sistem penting dalam pengereman pesawat, sehingga kegagalannya berdampak pada keselamatan dan efisiensi operasi. Berdasarkan data defect fault periode 2019–2024, terdapat 68 kasus kegagalan thrust reverser, dengan 21 di antaranya terkait PCM. Metode analisis menggunakan diagram Pareto untuk mengidentifikasi penyebab

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

*Corresponding author, masetiyanto56@gmail.com

utama, dilanjutkan Root Cause Analysis (RCA) dengan diagram fishbone dan 5 Why's Analysis. Hasil menunjukkan korosi pada konektor listrik menjadi penyebab utama kegagalan PCM, berkontribusi 67% dari total kasus. Faktor penyebab meliputi aspek manusia (kurangnya kepatuhan teknisi), metode (penggunaan APD dan pengencangan tidak sesuai), mesin (alat kerja kurang memadai), dan material (bahan mudah korosi). Penelitian ini merekomendasikan pelatihan rutin mengenai EWIS, Human Factor, dan Safety Precautions, penegakan aturan APD, pemeriksaan tools berkala, serta koordinasi dengan manufaktur untuk pedoman perawatan yang lebih baik. Implementasi rekomendasi diharapkan menurunkan tingkat kegagalan PCM dan meningkatkan keandalan sistem thrust reverser pada Airbus A330-300.

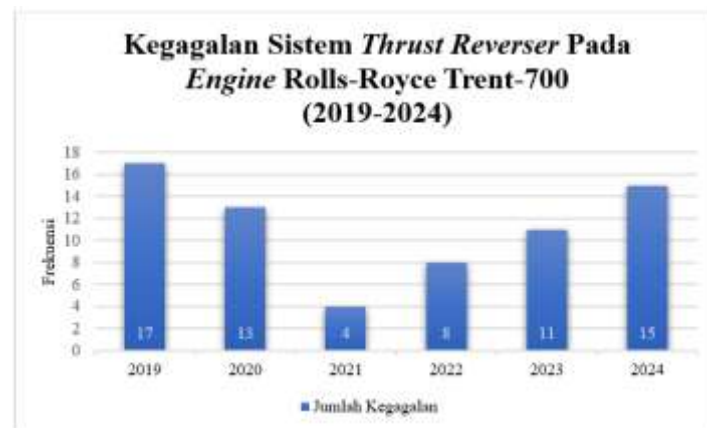
Kata kunci: Airbus A330-300, *Power Conditioning Module*, Rolls-Royce Trent-700, *Root Cause Analysis*, Sistem Thrust Reverser.

LATAR BELAKANG

Pada CASR (*Civil Aviation Safety Regulation*) Part 25 Appendix H Subpart 25.1 (DGCA, 2003), dijelaskan bahwa kelaikudaraan pesawat terbang harus mencakup keseluruhan bagian pesawat tersebut. Salah satu sistem yang harus dijaga kelaikannya adalah sistem *thrust reverser* yang merupakan sistem yang tergolong *MEL ITEM Category-C* berupa sistem pengereman pesawat terbang dengan cara membalikkan arah gaya dorong yang diproduksi oleh *engine fan* ke depan dengan sudut sebesar 45° (Rolls-Royce plc, 1996). *Thrust reverser* dibutuhkan karena selain meningkatkan keamanan operasi pesawat, juga berperan untuk mengurangi usia komponen *wheel brake*, sebagai *safety measure* dalam peristiwa *rejected take-off* dan mengurangi jarak *landing roll* khususnya di kondisi landasan yang basah, licin dan mengandung es (Zhao et al., 2022).

Pada pesawat Airbus A330-300 dengan *engine* Rolls-Royce Trent-700 sistem *thrust reverser* memiliki 3 kunci sebagai proteksi tambahan dalam operasi yang dinamakan *main locks sub-systems* yang terdiri atas, *Primary Locks*, *Secondary Locks*, dan *Tertiary Locks*. *Primary Locks* dan *Secondary Locks* dikendalikan secara hidrolik oleh DCV (*Directional Control Valve*) sedangkan untuk *Tertiary Locks* dikendalikan secara elektrik oleh PCM (GMF L. S, 2018). PCM (*Power Conditioning Module*) adalah komponen yang memiliki fungsi sebagai *power supply* 104 VDC ke *Tertiary Locks* atas kendali dari FCPC (*Flight Control Primary Computer*) (GMF L. S, 2018). Kegagalan pada komponen PCM ini dalam skenario umum dapat menyebabkan kegagalan sistem berupa "*thrust reverser*

does not open” Ref.TSM 78-37-00-810-831 (GMF L. S, 2018). Selain komponen di atas, komponen lain yang krusial dalam operasi sistem ini mencakup seperti EEC (*Electronic Engine Controller*), dan ICU (*Isolation Control Unit*). Kegagalan pada setiap komponen krusial ini akan menyebabkan konsekuensi yang signifikan seperti kegagalan pada EEC dapat menyebabkan sistem *thrust reverser* kehilangan kendali atas ICU dan DCV. Kegagalan pada ICU dapat menyebabkan sistem ini *INOPERATIVE* (Lufthansa, 1999).



Sumber: PT. GMF AeroAsia, Tbk. (2024).

Gambar 1. Kegagalan Sistem *Thrust Reverser* pada *Engine* Rolls-Royce Trent-700

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Liu et al., 2020) tentang analisis kegagalan pada sistem *thrust reverser* secara umum mengindikasikan bahwa sistem ini memiliki potensi kegagalan berupa “*thrust reverser uncommanded open*” yang meruntun pada kegagalan sub-sistem *main locks* pada sistem ini. Kekurangan dari penelitian ini adalah tidak menelaah lebih dalam terkait masalah tingkat komponen dari kegagalan ini dan penelitian ini tidak difokuskan pada *engine* spesifik tertentu. Ditunjukkan pada Gambar 1 merupakan grafik representatif dari kegagalan sistem *thrust reverser* pada *engine* Rolls-Royce Trent-700 dalam rentang waktu tahun 2019-2024 terjadi sebanyak 68 kasus kegagalan pada sistem *thrust reverser* yang disebabkan oleh banyak faktor.

Kasus kegagalan dalam kurun waktu tersebut dilakukan segregasi berdasarkan penyebab kegagalannya, didapatkan grafik pada Gambar 2 di bawah. Pada gambar tersebut mengindikasikan bahwa PCM (*Power Conditioning Module*) merupakan kontributor utama dalam kasus kegagalan tersebut dalam pembahasan yang difokuskan pada sistem *thrust reverser engine* Rolls-Royce Trent-700. Sebanyak 21 kasus kegagalan dari 68 kasus kejadian, merupakan PCM *fault* yang secara umum, kegagalan pada

komponen PCM dapat menyebabkan kegagalan pada sistem ini berupa “*thrust reverser uncommanded open*” dan “*thrust reverser fault messages*” (GMF L. S, 2018).

Pada penerbangan Lauda Air 004 tahun 1991 di Hongkong mengalami kejadian “*thrust reverser uncommanded open*” menyebabkan pesawat hilang kendali dan pecah di udara (*in-flight breakups*) (Thailand, 1991). Peristiwa tersebut telah menewaskan seluruh penumpang dan awak penerbangan dengan jumlah 223 jiwa. Dari kejadian kecelakaan tersebut, disimpulkan bahwa perlu adanya penelitian lebih dalam mengenai penyebab kegagalan komponen PCM (*Power Conditioning Module*) terkait pengaruhnya terhadap kegagalan sistem *thrust reverser engine* Rolls-Royce Trent-700.



Sumber: PT. GMF AeroAsia, Tbk. (2024).

Gambar 2. Klasifikasi Kegagalan Sistem *Thrust Reverser* pada *Engine* Rolls-Royce Trent-700

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan bantuan diagram Pareto dan Root Cause Analysis (RCA) yang melibatkan fishbone diagram serta 5 Why's Analysis. Pendekatan ini digunakan untuk memahami penyebab kerusakan PCM (*Power Conditioning Module*) dan pengaruhnya terhadap kegagalan thrust reverser engine Rolls-Royce Trent-700 pada pesawat Airbus A330-300. Metode ini diharapkan menghasilkan temuan yang valid, objektif, dan reliabel (Agustini et al., 2023; Hakim Nasution et al., 2024). Penelitian diawali dengan analisis data defect fault periode 2019–2024 menggunakan diagram Pareto untuk menentukan prioritas penyebab kegagalan (Aulia Rohani, 2021). Selanjutnya dilakukan RCA untuk menelusuri akar

masalah melalui tiga tahap, yaitu analisis fishbone dengan kaidah 4M, analisis 5 Why's untuk meneliti akar penyebab, dan perumusan preventive action berdasarkan hasil diskusi dengan narasumber (Mobley, 1999).

Objek penelitian ini adalah komponen PCM (Power Conditioning Module) pada sistem thrust reverser engine Rolls-Royce Trent-700 pesawat Airbus A330-300 di PT. GMF AeroAsia, Tbk. Berdasarkan data defect fault periode 2019–2024, terdapat 68 kasus kegagalan sistem dengan 21 kasus disebabkan oleh PCM. Komponen yang diteliti adalah Power Conditioning Module P/N TY2109-02A # TY2046-20A pada engine RB211-722. Data penelitian diperoleh dari data primer dan sekunder. Data primer dikumpulkan melalui observasi dan wawancara dengan lima narasumber yang terdiri dari Aircraft Maintenance Engineer dan Manager Production (avionic crew) di Hangar 3 PT. GMF AeroAsia, Tbk. yang memiliki type rating Airbus A330-300. Data sekunder berasal dari dokumen seperti AMM, TSM, Training Manual, Component Condition Report, dan Irregular Flight Report.

Data bersifat kualitatif, berupa narasi tertulis dan pernyataan narasumber mengenai penyebab kegagalan (Taherdoost, 2021). Teknik pengumpulan data mencakup studi literatur, analisis dokumen teknik, dan wawancara semiterstruktur (Creswell & Creswell, 2018; Sugiyono, 2020b). Pemilihan narasumber dilakukan secara purposive sampling untuk memastikan data yang diperoleh relevan dan valid. Data yang terkumpul diolah menggunakan triangulasi metode untuk menjamin keabsahan informasi. Analisis diawali dengan diagram Pareto guna menentukan prioritas penyebab kegagalan, kemudian dilanjutkan dengan RCA menggunakan fishbone dan 5 Why's Analysis. Hasil analisis menghasilkan identifikasi akar penyebab kerusakan PCM serta usulan langkah preventif untuk meminimalkan kegagalan sistem thrust reverser.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Pareto Sistem Thrust Reverser Engine Rolls-Royce Trent-700

Pada bagian ini, data laporan *defect fault thrust reverser* direduksi secara manual terkait penyebab dari masing masing kasus kegagalan dan akan diolah menggunakan *Ms.Excel* untuk mendapatkan informasi penting yang terkandung dalam data tersebut.

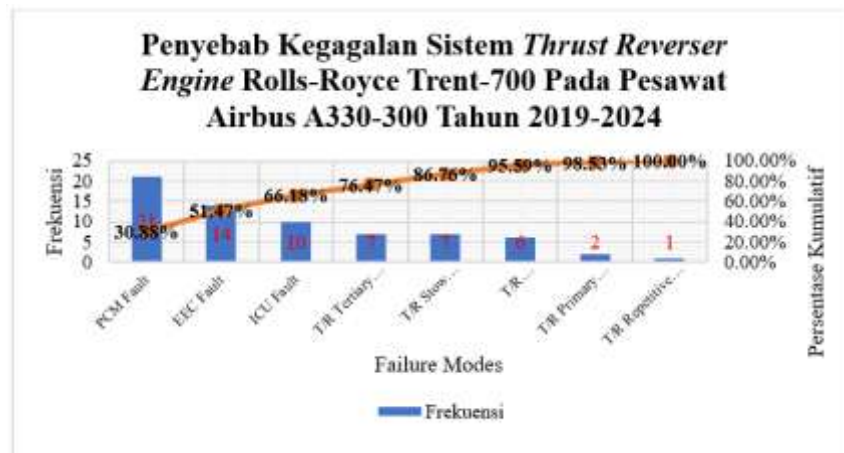
Setelah dilakukannya reduksi terhadap data ini, maka didapat data setengah jadi seperti pada Tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1. Reduksi Data Kegagalan Sistem *Thrust Reverser*
*Engine Rolls-Royce Trent-700***

No	Kegagalan	Frekuensi	Presentase	Persentase Kumulatif
1	<i>PCM Fault</i>	21	30,88%	30,88%
2	<i>EEC Fault</i>	14	20,59%	51,47%
3	<i>ICU Fault</i>	10	14,71%	66,18%
4	<i>T/R Tertiary Lock Fault</i>	7	10,29%	76,47%
5	<i>T/R Stow Switch Fault</i>	7	10,29%	86,76%
6	<i>T/R Uncommand Opened/Closed</i>	6	8,82%	95,59%
7	<i>T/R Primary Lock Fault</i>	2	2,94%	98,53%
8	<i>T/R Repetitive Fault MCDU</i>	1	1,47%	100,00%
TOTAL		68	100,00%	

Sumber: Data Penelitian Penulis (2025).

Diagram *pareto* digunakan untuk memberikan panduan visual terkait prioritas analisis seperti pada Gambar 3. Berdasarkan diagram *pareto* di bawah, maka terdapat 8 klasifikasi kegagalan yang terjadi pada sistem ini dalam rentang waktu 2019-2024. Mengacu pada diagram tersebut, maka diperoleh nilai frekuensi kegagalan setiap *failure mode* dan nilai persentase kumulatif yang dimiliki sesuai bobot masing-masing *failure mode*. Diagram ini menjelaskan bahwa mayoritas penyebab kegagalan sistem *thrust reverser engine* Rolls-Royce Trent-700 ini berasal dari kegagalan pada komponen PCM (*Power Conditioning Module*) yang mencakup lebih dari 20 kali frekuensi kegagalan dari keseluruhan penyebab kegagalan pada sistem ini.



Sumber: PT. GMF AeroAsia, Tbk. (2024).

Gambar 3. Diagram *Pareto* Penyebab Kegagalan Sistem *Thrust Reverser Engine* Rolls-Royce Trent-700 Pada Pesawat Airbus A330-300

Dilihat dari grafik di atas, *PCM Fault* yang memiliki nilai persentase kumulatif sebesar 30,88%. Menyusul *PCM Fault* adalah *EEC Fault* dengan jumlah persentase kumulatif sebesar 51,47% dan *ICU Fault* dengan persentase kumulatif sebesar 66,18% dan seterusnya hingga nilai persentase kumulatif menyentuh angka 100%. Dengan hasil analisis di atas, disimpulkan bahwa mode kegagalan dengan tingkat frekuensi paling tinggi adalah *PCM (Power Conditioning Module) Fault* dengan frekuensi kejadian sebesar 21 kasus dengan bobot persentase kumulatif sebesar 30,88% menjadikan mode kegagalan ini sebagai faktor kegagalan utama sistem *Thrust Reverser* dan layak untuk diteliti lebih lanjut menggunakan metode RCA. Kegagalan *PCM* pada sistem *thrust reverser* dapat berupa kegagalan komponen dalam menjalankan fungsinya untuk membuka kunci tersier pada *pivoting door thrust reverser* atas kendali komponen *FCPC (Flight Control Primary Computer)*. Kegagalan ini menampilkan *message* pada *ECAM (Electronic Centralized Aircraft Monitoring)* berupa “*Thrust Rev Fault Message*” Ref.TSM 78-37-00-810-831.

Analisis *Pareto* *PCM (Power Conditioning Module)*

Berdasarkan data *Shop Report* Komponen *PCM* pada Airbus A330-300 yang diperoleh dari unit *Workshop Base Maintenance* Hangar 3 PT. GMF AeroAsia, Tbk, kegagalan *PCM* dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti *electrical connector burn*, *connector loose*, dan *connector found corrosion*. Data ini direduksi secara manual dan

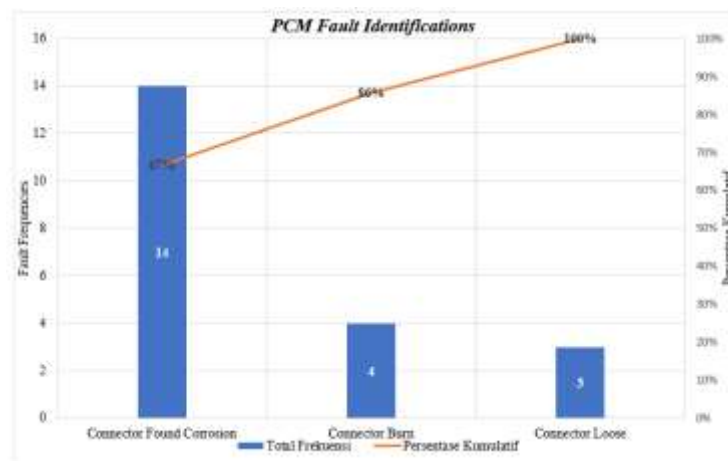
dikalkulasi dengan bantuan Ms.Excel untuk mendapatkan hasil numerik seperti pada Tabel 2 yang selanjutnya akan ditampilkan dengan diagram *pareto*.

Tabel 2. Reduksi Data PCM (*Power Conditioning Module*)

<i>Defect Type</i>	Total Frekuensi	Frekuensi	Persentase Kumulatif
<i>Connector Found Corrosion</i>	14	67%	67%
<i>Connector Burn</i>	4	19%	86%
<i>Connector Loose</i>	3	14%	100%
TOTAL	21		

Sumber: Data Penelitian Penulis (2025).

Sebagai informasi, PCM sendiri memiliki konektor dengan *part number* ESC10SE60803P6O berarti, konektor ini merupakan *Electrical Specification Connector*, tipe *Standard*, *Firewall class*, *EMI grounding finger capable*, memiliki 6 *plug*, susunan kontak 0803, bertipe 3 *Pin* ukuran No.20. Seperti pada analisis sistem *thrust reverser* sebelumnya, faktor kegagalan PCM ini juga akan dianalisis menggunakan diagram *pareto* untuk menemukan faktor dengan nilai frekuensi tertinggi dengan maksud untuk mengurutkan tingkat prioritas penanganan berikutnya seperti pada Gambar 4.



Sumber: PT. GMF AeroAsia, Tbk. (2024).

Gambar 4. Analisis Diagram *Pareto* terhadap Faktor Kegagalan Komponen PCM (*Power Conditioning Module*)

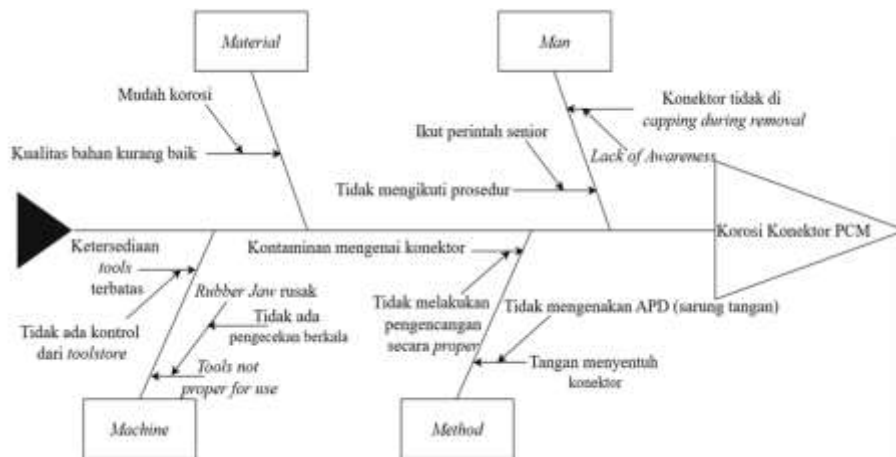
Setelah dilakukan analisis diagram *pareto* pada data ini, maka ditemukan bahwa *Connector Corrosion* atau korosi pada konektor listrik komponen ini adalah faktor utama penyebab kegagalan komponen PCM. Menyusul *Connector Corrosion* adalah *Connector*

Burn menduduki posisi kedua dengan hanya 4 kasus kegagalan dalam rentang waktu tahun 2019-2024. *Connector Loose* merupakan penyebab kegagalan dengan tingkat prioritas paling kecil dengan jumlah hanya 3 kasus kegagalan dalam rentang waktu yang sama. Korosi pada konektor menempati posisi dominan dengan persentase sebesar 67% atau sebanyak 14 dari 21 frekuensi kasus kegagalan pada komponen PCM secara keseluruhan sehingga, menjadikannya faktor penyebab kegagalan utama pada komponen PCM. Hasil analisis diagram *pareto* ini berupa temuan “*Electrical Connector Found Corrosion*” ini akan dianalisis lebih jauh dengan *Root Cause Analysis* menggunakan diagram *fishbone* dan 5 *Why's* untuk menentukan akar penyebab dari masing-masing kegagalan ini dan merumuskan tindakan *preventive* yang dapat diterapkan untuk meminimalisir kejadian serupa.

RCA *Electrical Connector Found Corrosion* pada PCM

Analisis RCA dilakukan dengan diagram *fishbone* terkait faktor kegagalan komponen PCM berupa “*electrical connector found corrosion*” atau korosi pada konektor listrik PCM. Hasil masing-masing komponen diagram *fishbone* akan dianalisis lebih jauh menggunakan 5 *Why's* pada bagian selanjutnya. Kedua analisis ini didasari oleh hasil wawancara. Diagram *Fishbone* mengklasifikasikan akar penyebab permasalahan pada komponen ini sesuai dengan aspek 4M (*Man, Machine, Material* dan, *Method*). Berdasarkan penjelasan (Knop & Mielczarek, 2018) bahwa penggunaan aspek 4M merupakan langkah penggunaan diagram *Fishbone* yang bertaraf *intermediate* untuk melakukan sebuah analisis permasalahan. Dan penggunaan diagram ini seperti yang tertera pada Gambar 5 di bawah.

1. Analisis Diagram *Fishbone* pada *Electrical Connector Found Corrosion* PCM



Sumber: PT. GMF AeroAsia, Tbk. (2024).

Gambar 5. Diagram *Fishbone* Korosi Konektor PCM

Berdasarkan hasil analisis diagram fishbone pada Gambar 5 diperoleh beberapa akar penyebab terjadinya korosi pada konektor PCM sesuai aspek 4M (*Man, Machine, Method, Materials*). Aspek *Man* memiliki akar permasalahan, yaitu teknisi tidak melakukan *capping* saat melepas konektor sehingga konektor terpapar lingkungan dan berpotensi korosi akibat *lack of awareness* dalam pekerjaan terhadap konektor PCM. Selain itu, teknisi tidak mengikuti prosedur standar dan melewatkan detail penting karena masih mengikuti perintah senior. Aspek *Method* menunjukkan akar permasalahan berupa teknisi menyentuh langsung konektor tanpa mengenakan APD (*sarung tangan*), sehingga konektor berpotensi mengalami korosi.

Selain itu, kontaminasi seperti debu dan sisa cairan hidrolik dapat menempel akibat pengencangan konektor PCM yang tidak dilakukan secara *proper*. Aspek *Machine* didominasi permasalahan pada peralatan kerja, yaitu kondisi *tools* yang kurang baik karena *rubber grip* atau *rubber jaw pliers* sudah rusak akibat tidak adanya pengecekan berkala, serta ketersediaan *tools* terbatas karena kurangnya kontrol dari pihak *toolstore*. Aspek *Material* memiliki akar permasalahan berupa kualitas bahan yang kurang baik karena material konektor mudah mengalami korosi.

2. Analisis 5Why's pada *Electrical Connector Found Corrosion* pada PCM

Tabel 3. Reduksi Data PCM (*Power Conditioning Module*)

Aspek	No.	Why?	Why?	Why?	Why?	Why?
Man	1.1	Konektor tidak di <i>capping</i> during removal	Sering terlewatkan	<i>Lack of Awareness</i>	Tidak tahu risiko jika tidak di-cap	Belum dilakukannya <i>training</i> khusus terkait EWIS
	1.2	Tidak mengikuti prosedur	ikut perintah senior	Menganggap pekerjaan senior sudah sesuai prosedur	Merasa sudah hafal prosedur	<i>Complacency</i>
Method	2.1	Tangan menyentuh konektor	Tidak mengenakan APD (sarung tangan)	Tidak peduli dengan kontaminasi	<i>Lack of Knowledge</i>	Pegawai baru
	2.2	Kontaminan mengenai konektor	Tidak melakukan pengencangan secara <i>proper</i>	tidak tahu standar pengencangan yang <i>proper</i>	Tidak membaca AMM	Ingin pekerjaan cepat selesai
Machine	3.1	<i>Tools not proper for use</i>	<i>Mordener rubber</i> sudah rusak	Tidak ada pengecekan berkala	Dianggap masih layak pakai	Tidak ada standardisasi <i>toolstore</i>
	3.2	Jumlah <i>tools</i> terbatas	Tidak ada kontrol dari <i>toolstore</i>	Tidak ada <i>feedback</i> dari produksi	Tidak ada <i>plan</i>	Tidak <i>aware</i>
Material	4.1	Kualitas bahan kurang baik	Mudah korosi	Material terbuat dari <i>alloy</i>	Tidak ada pemberian <i>CFC Contact Cleaner</i>	Tidak ada di AMM

Sumber: Data Penelitian Penulis (2025).

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh hasil analisis 5 *Why's* berdasarkan wawancara dengan narasumber. Analisis ini meneliti akar permasalahan lebih jauh menurut aspek 4M (*Man, Machine, Method, Material*). Aspek *Man* mencakup teknisi yang bekerja pada komponen konektor PCM. Hasil wawancara menunjukkan akar masalah berupa *dirty dozen* yaitu *Lack of Awareness* dan *Complacency*. *Lack of Awareness* terjadi karena teknisi sering melewatkan pekerjaan detail seperti *capping* pada konektor. *Complacency* terjadi karena teknisi, terutama yang baru, tidak mengikuti prosedur dengan teliti dan cenderung meniru cara kerja senior.

Aspek *Machine* mencakup peralatan yang digunakan dalam perawatan komponen. Berdasarkan analisis 5 *Why's*, permasalahan muncul karena *tools* sudah tidak *proper* akibat kerusakan pada *rubber crip* atau *rubber jaw pliers* serta tidak adanya standardisasi

atau pengecekan berkala oleh *toolstore*. Selain itu, jumlah *tools* terbatas karena tidak adanya kontrol stok dari pihak *toolstore*. Aspek *Method* mencakup prosedur perawatan komponen. Analisis menunjukkan teknisi tidak mengenakan APD berupa *sarung tangan* saat bekerja sehingga tangan menyentuh konektor dan mempercepat korosi. Selain itu, kontaminan sering mengenai konektor karena teknisi belum memahami prosedur pengencangan yang sesuai standar dan sering tidak membaca AMM sebelum bekerja. Aspek *Material* mencakup kualitas bahan yang kurang baik karena material konektor terbuat dari *alloy* yang mudah mengalami korosi.

Usulan Perbaikan

Setelah akar penyebab permasalahan berdasarkan aspek 4M telah diperoleh melalui hasil analisis diagram *fishbone* dan *5Why's*, maka proses selanjutnya dalam penelitian ini akan dilakukan perumusan *preventive action* atau usulan berupa tindakan pencegahan yang dapat dijadikan pedoman untuk mengurangi jumlah kegagalan komponen konektor PCM pada sistem *thrust reverser engine* Rolls-Royce Trent-700 yang ditunjukkan pada Tabel 4. Prosesi FGD ini sejalan dengan prosesi wawancara analisis diagram *fishbone* dan *5Why's* melalui ruang virtual Zoom.

Tabel 4. Usulan Perbaikan

Aspek	Akar Penyebab Permasalahan	<i>Preventive Action</i>	Sumber
<i>Man</i>	Konektor tidak di <i>capping during removal</i>	Melakukan pengarahan atau <i>safety briefing</i> kepada teknisi tentang <i>safety precautions</i> dalam mengerjakan komponen kelistrikan terkhusus konektor dan menitik-beratkan pentingnya menggunakan <i>capping</i> saat <i>removal</i> konektor untuk mencegah korosi dan melakukan pelatihan berupa <i>training</i> terkait EWIS serta membuat program penyediaan <i>cap</i> untuk serta membuat program penyediaan <i>cap</i> untuk segala tipe konektor oleh pihak <i>toolstore</i> .	FGD bersama narasumber wawancara RCA
	Tidak mengikuti prosedur	Melakukan <i>recurrent training</i> khususnya <i>training</i> terkait materi EWIS pada teknisi baru untuk menekankan penerapan prosedur yang sesuai standar dan memasukkan pembahasan berupa penerapan prosedur standar dalam bekerja sebagai materi <i>daily safety briefing</i>	FGD bersama narasumber wawancara RCA
<i>Method</i>	Tangan menyentuh konektor	Memasukkan materi <i>safety precautions</i> saat mengerjakan komponen konektor listrik dalam materi <i>safety briefing</i> dan membuat program pengadaan <i>safety stock</i> pada APD sarung tangan dan penegakan aturan	FGD bersama narasumber wawancara RCA

Aspek	Akar Penyebab Permasalahan	Preventive Action	Sumber
		pemakaian sarung tangan saat bekerja dengan komponen ini.	
	Kontaminan mengenai konektor	Melakukan <i>recurrent training</i> terkait <i>basic workshop procedure</i> untuk membentuk budaya kerja yang baik dan melakukan kalibrasi rutin terkait <i>tools</i> pengencang oleh pihak <i>toolstore</i>	FGD bersama narasumber wawancara RCA
Machine	<i>Tools not proper for use</i>	Melakukan standarisasi kondisi <i>tools</i> oleh pihak <i>toolstore</i> dengan menarik dan memperbaiki stok <i>tools</i> yang sudah tidak layak pakai, menerbitkan SOP <i>servicing tools</i> yang dapat dikerjakan oleh teknisi saat di lapangan.	FGD bersama narasumber wawancara RCA
	Jumlah <i>tools</i> terbatas	Membuat program pengendalian stok <i>tools</i> , manajemen peminjaman dan pengembalian <i>tools</i> dan merancang program pengadaan <i>tools</i>	FGD bersama narasumber wawancara RCA
Material	Kualitas bahan kurang baik	Melakukan koordinasi kepada pihak manufaktur untuk menyediakan pedoman perawatan PCM dengan baik seperti pada saat pesawat dalam kondisi <i>storage</i> . Merencanakan program pengadaan material dan <i>tools</i> yang menunjang operasi perawatan pada konektor PCM khususnya pada saat pesawat dalam kondisi <i>parked outside hangar</i> .	FGD bersama narasumber wawancara RCA

Sumber: Data Penelitian Penulis (2025).

Berdasarkan analisis mendalam yang telah dilakukan terhadap akar penyebab kegagalan komponen PCM (*Power Condition Module*) berupa korosi pada bagian konektor komponen ini, beberapa usulan perbaikan dalam bentuk langkah-langkah pencegahan (*preventive actions*) didapatkan. Usulan perbaikan ini diformulasikan berdasarkan hasil FGD (*Focus Group Discussion*) bersama dengan narasumber yang terdiri atas pihak *Engineer* dan *Manager Production base maintenance unit* di hangar 3 PT. GMF AeroAsia, Tbk. Usulan ini bersifat saran dan masukan kepada pihak MRO, PT. GMF AeroAsia, Tbk terkait dengan penanganan komponen ini.

Sebagaimana dijelaskan dalam hasil diagram *pareto* dan analisis RCA (*Root Cause Analysis*) berupa diagram *fishbone* dan *5 Why's Analysis*, untuk mengurangi tingkat kegagalan dalam komponen ini, beberapa tindakan preventif diajukan, antara lain: dalam aspek *Man* (Manusia) peningkatan kesadaran teknisi melalui pelatihan rutin terkait materi EWIS mengenai prosedur standar perawatan, termasuk pentingnya melakukan *capping* pada konektor saat dilepas untuk mencegah paparan kelembaban serta memasukkan

materi *safety precautions* pada pengerjaan komponen konektor kelistrikan dalam materi *safety briefing* juga mengarahkan pihak *toolstore* untuk membuat program pengadaan *cap* untuk segala tipe konektor. Dalam aspek *Method* (Prosedur), penegakan prosedur berupa penggunaan APD seperti sarung tangan untuk menghindari kontaminasi langsung dari tangan teknisi yang dapat mempercepat pembentukan korosi, penerapan prosedur pengencangan konektor yang tepat sesuai dengan pedoman AMM untuk mencegah masuknya kontaminan dalam pin konektor dan membuat jadwal kalibrasi rutin untuk *tools* pengencang yang membutuhkan kalibrasi.

Dari sekian usulan yang didapatkan, usulan perbaikan dititik beratkan pada aspek *Man* dan *Method*. Pemilihan ini didasari oleh asumsi pribadi yang menyatakan bahwa kedua aspek ini adalah aspek dengan tingkat prioritas yang paling dominan dimana jika kedua aspek ini dilakukan maka asumsi bahwa tingkat kegagalan berupa korosi pada konektor komponen PCM ini akan dapat diminimalisir secara signifikan. Aspek *Man* (Manusia) memiliki permasalahan utama berupa ketidakpatuhan teknisi terhadap prosedur berupa tidak melaksanakan *capping* secara *proper* yang merupakan pelanggaran terhadap prosedur ESPM, *cleaning* menggunakan CFC *Contact Cleaner* yang tidak dilakukan secara rutin yang dapat dicegah dengan pelaksanaan *safety briefing* rutin yang mencakup *safety precaution* seperti pengarahan terkait *scope* pekerjaan termasuk pentingnya melakukan *capping* khususnya saat bekerja dengan konektor listrik serta merancang program pelatihan teknisi terkait materi EWIS (*Electrical Wiring Interconnection System*) untuk dapat memberikan pengetahuan lebih mendalam kepada teknisi terkait aturan bekerja dengan komponen kelistrikan khususnya konektor.

Aspek *Method* atau terkait dengan prosedur kerja mencakup permasalahan seperti yang dijelaskan di atas, kontaminan yang berperan terhadap pembentukan konektor seperti yang terjadi saat teknisi bekerja dengan komponen ini tanpa mengenakan sarung tangan yang merupakan sebuah pelanggaran terhadap AMM terkait *PCM Installation* yang menjelaskan bahwa pemakaian sarung tangan dimaksudkan untuk mencegah kontaminan yang dapat berpengaruh terhadap pembentukan korosi. Maka diusulkan langkah pencegahan seperti memasukkan materi *safety precautions* saat mengerjakan komponen konektor listrik dalam materi *safety briefing* dan membuat program pengadaan *safety stock* pada APD sarung tangan dan penegakan aturan pemakaian sarung tangan saat

bekerja dengan komponen ini. Implementasi usulan perbaikan ini diharapkan dapat secara efektif menurunkan frekuensi kegagalan PCM, yang pada dampaknya akan meningkatkan keandalan sistem *thrust reverser* dan dapat mengurangi dampak negatif seperti *flight delay*, sekaligus mendukung keselamatan operasional pesawat secara keseluruhan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dijelaskan, maka kesimpulan yang didapatkan setelah dilakukan analisis menggunakan diagram pareto pada data defect fault komponen PCM sistem thrust reverser engine Rolls-Royce Trent-700 selama 2019–2024, ditemukan bahwa penyebab utama kegagalan terletak pada *electrical connector found corrosion* atau korosi pada konektor, dengan hasil analisis sebesar 14 dari 21 kasus dan bobot kumulatif 67%. Melalui metode *Root Cause Analysis* dengan *fishbone diagram* dan *5 Why's Analysis*, akar penyebab permasalahan PCM adalah korosi pada konektor yang disebabkan oleh faktor 4M (*Man, Machine, Method, Material*). Aspek *Man* meliputi teknisi yang tidak mengikuti prosedur seperti tidak melakukan *capping* saat *removal connector*. Aspek *Method* mencakup tidak digunakannya sarung tangan sesuai prosedur AMM PCM Installation.

Aspek *Machine* meliputi kerusakan *tools* seperti *rubber jaw pliers* dan keterbatasan alat, sedangkan aspek *Material* mencakup bahan konektor yang mudah korosi. Berdasarkan hasil *Focus Group Discussion*, ditetapkan beberapa solusi pencegahan, yaitu pengarahan *safety precautions* pada *briefing* sebelum pekerjaan dan *recurrent training* EWIS bagi teknisi baru untuk menekankan kepatuhan prosedur. Selain itu, perlu pengadaan *safety stock* sarung tangan, kalibrasi rutin alat pengencang, serta standardisasi dan pengendalian stok *tools* oleh *toolstore*. Juga disarankan koordinasi dengan pihak manufaktur untuk pedoman perawatan PCM saat *on storage* dan penyediaan material serta *tools* pendukung perawatan, khususnya ketika pesawat *parked outside hangar*.

DAFTAR REFERENSI

Agustini, G. A., Sukarman, Putra, S., Guampe, A., Akbar Saddam, J., L. A., M., Maryati, I., Ririnisahawaitun, Mesra, R., N. S., M., Tuerah, P. R., Ramadhani, M. V., & Rulanggi, R. (2023). *Metode penelitian kualitatif (Teori & panduan praktis analisis*

data kualitatif) Ed. 1st Vol. 1. Medan: Mifandi Mandiri Digital.

- Aulia Rohani, Q. (2021). Analisis kecelakaan kerja dengan menggunakan metode Risk Priority Number, diagram Pareto, fishbone, dan Five Why's Analysis. *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, 136–143.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). Los Angeles: SAGE Publications, Inc.
- GMF Learning Services. (2018). *Airbus A330 (RR RB211 Trent 700) training manual 71-80 Powerplant (RR Trent 700)* (Revision 2). GMF Learning Services.
- Hakim Nasution, F., Syahrani Jailani, M., & Junaidi, R. (2024). Kombinasi (mixed-methods) dalam praktis penelitian ilmiah. *Journal Genta Mulia*, 15(2), 251–256.
- Knop, K., & Mielczarek, K. (2018). Using 5W-1H and 4M methods to analyze and solve the problem with the visual inspection process-Case study. *MATEC Web of Conferences*, 183.
- Liu, C., Tian, J., & Su, S. (2020). Reliability analysis of aircraft thrust reverser system based on dynamic fault tree. *Proceedings of the 2020 IEEE 9th International Conference on Advanced Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)*, 948–951.
- Lufthansa Technical Training GmbH. (1999). *Lufthansa technical training manual Airbus A330 ATA 71-80; 30-21 RR Trent-700* (Vol. A330 71-80 RR L3). Lufthansa Technical Training GmbH.
- Mobley, R. K. (1999). *Root cause failure analysis*. Oxford: Newnes Butterworth-Heinemann.
- Rolls-Royce plc. (1996). *The jet engine* (5th ed.). Rolls-Royce Technical Publications Department.
- Sugiyono. (2020). *Metode penelitian kualitatif* (3rd ed., Vol. 3). Bandung: Penerbit Alfabeta.
- Taherdoost, H. (2021). Data collection methods and tools for research: A step-by-step guide to choose data collection technique for academic and business research projects. *International Journal of Academic Research in Management (IJARM)*, 10(1).
- Thailand, A. (1991). *Lauda Air 004 B767 accident report*. Department of Aviation, Thailand.
- Zhao, J., Wang, X., Meng, C., Song, H., Luo, Z., & Han, Q. (2022). Dynamic modeling and analysis of thrust reverser mechanism considering clearance joints and flexible component. *Aerospace*, 9(10), 611.