



Analisis Root Cause Kegagalan Autobrake Disarm Illuminated After Touchdown pada Boeing 737-8 MAX

Evan Bramandito Prawiguna¹ Iwan Engkus Kurniawan² Fawwas Yuza Gifari³

Program Studi Teknik Pesawat Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Tangerang, Banten, Indonesia^{1,2,3}

Email: evanbramandito@gmail.com¹ iwan.engkus@ppicurug.ac.id²
fawwazyusa@ppicurug.ac.id³

Abstrak

Sistem pengereman otomatis (autobrake system) pada pesawat udara komersial khususnya Boeing 737-8 MAX merupakan komponen vital yang dirancang untuk memberikan deselerasi secara otomatis dan terukur segera setelah roda pesawat menyentuh landasan (touchdown), mengalihkan beban pengereman dari pilot serta meminimalkan risiko runway excursion atau overrun. Sistem ini dikendalikan oleh Antiskid/Autobrake Control Unit dan berinteraksi secara kompleks dengan wheel speed transducer, thrust lever switchpack, speedbrake/spoiler control electronics, brake pedal switches, serta katup-katup hidrolik pengereman. Namun, ditemukannya gangguan operasional berupa Autobrake System Disarm illuminated after touchdown (terpasangnya lampu kuning "Autobrake Disarm" di kokpit saat atau setelah touchdown) mengindikasikan pelepasan pengereman otomatis secara tidak sesuai aturan awal (uncommanded disarm), yang memaksa pengereman beralih ke mode manual secara mendadak. Hal ini berpotensi meningkatkan pilot workload, memperpanjang jarak deselerasi pesawat, serta mengancam keselamatan penerbangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor teknis maupun operasional penyebab kegagalan tersebut, mengevaluasi efektivitas prosedur troubleshooting di lapangan, menguji kontribusi faktor manusia (human factor), serta merumuskan rekomendasi corrective action yang aplikatif untuk mencegah kejadian berulang. Penelitian kualitatif deskriptif-eksploratif dengan strategi studi kasus ini menerapkan pendekatan Root Cause Analysis yang mengombinasikan alat analisis Diagram Pareto, Diagram Fishbone (Ishikawa), serta analisis 5W+1H. Penelitian berlokasi di PT. Airfast Indonesia (Bandara Internasional Soekarno-Hatta, Tangerang) dalam rentang waktu September 2025 hingga Februari 2026, menggunakan data histori operasional pendaratan pesawat Boeing 737-8 MAX registrasi PK-OFI dan PK-OFM periode 16 Juni 2024 hingga 28 Juni 2026. Data sekunder dihimpun dari Aircraft Maintenance Logbook, Deferred Defect List, Interactive Fault Isolation Manual, Aircraft Maintenance Manual, dan Minimum Equipment List, sedangkan data primer diperoleh melalui wawancara mendalam (in-depth interview) dengan Supervisor, Engineer in Charge, dan Aircraft Maintenance Engineer berlisensi type rating Boeing 737-8 MAX. Dari total konsolidasi data 19 kasus kegagalan teragregasi (16 kasus pada PK-OFI dan 3 kasus pada PK-OFM), hasil pengolahan Diagram Pareto mengungkapkan bahwa kategori No Fault Found merupakan fenomena paling dominan dengan frekuensi mencapai 15 kasus atau sebesar 78,9%, yang mendekati pola rasio 80/20. Sementara itu, dua kategori kegagalan lain yang berhasil dikonfirmasi kerusakan fisiknya dan ditindaklanjuti dengan penggantian komponen masing-masing adalah kerusakan AB Solenoid Pressure Switch sebesar 2 kasus (10,5%) dan kerusakan Brake Pedal Switch sebesar 2 kasus (10,5%). Tingginya proporsi NFF menunjukkan bahwa mayoritas gangguan bersifat tidak permanen (transient/intermittent), sehingga tidak selalu memicu kode kesalahan (fault code) saat pengujian BITE (Built-In Test Equipment) AACU dilakukan di darat. Penelusuran akar masalah secara komprehensif menggunakan Diagram Fishbone pada kategori NFF ini menguraikan kontribusi dari lima elemen utama: pertama, faktor Man disebabkan oleh dokumentasi troubleshooting pada AML yang kurang terperinci, laporan pilot report yang kurang informatif terkait parameter pasti saat disarm, serta keterbatasan pengetahuan teknisi mengenai sifat intermittent fault pada AACU; kedua, faktor Material dipicu oleh tingginya tekanan operasi yang diterima komponen switch secara lanjutan tanpa adanya pemantauan kondisi (health trend monitoring), yang memicu indikasi fluktuatif tambahan pada brake transmitter; ketiga, faktor Method bersumber dari prosedur IFIM Task 32-42-00-810-926 yang masih bersifat teoretis umum dan belum spesifik menelusuri gangguan intermiten, filosofi perawatan komponen kelistrikan autobrake



yang masih bergantung pada sistem on-condition tanpa batas usia pakai (hard time replacement), keempat, faktor Environment dipengaruhi oleh kondisi kompartemen wheel well Boeing 737-8 MAX yang tidak dilengkapi pelindung (cover), sehingga jalinan kabel (wiring harness) dan sensor terpapar langsung pada fluktuasi suhu ekstrem serta kelembapan udara; dan kelima, faktor Machine berkaitan dengan keterbatasan sistem BITE AACU dalam merekam fault message yang hilang dengan cepat serta pesan kesalahan BITE yang terlalu umum. Berdasarkan temuan tersebut, rumusan corrective action berbasis kerangka 5W+1H merekomendasikan penerbitan form troubleshooting, penyelenggaraan refresher training teknis secara berkala untuk personel pemeliharaan, pengajuan technical query kepada manufaktur Boeing guna penyempurnaan petunjuk IFIM, pelaksanaan kajian Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk menentukan interval hard time replacement pada switch kritis, penegakan SOP troubleshooting berjenjang agar cross-swapping tidak dilakukan, serta kewajiban pencatatan variabel lingkungan pada setiap laporan investigasi guna menekan proporsi NFF dan menjamin kelaikudaraan penerbangan.

Kata Kunci: *Autobrake System, Boeing 737-8 MAX, Autobrake Disarm, Root Cause Analysis, Aircraft Maintenance.*



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

PENDAHULUAN

Fase pendaratan secara konsisten teridentifikasi sebagai fase penerbangan paling kritis. Fase *landing* hanya mencakup sekitar satu persen dari total waktu terbang, namun menyumbang sekitar 35% dari seluruh kecelakaan fatal pada armada jet komersial dunia periode 2016 hingga 2025 (Boeing Commercial Airplanes, 2026), sementara laporan keselamatan global mencatat tingkat fatalitas yang justru naik dari 65 menjadi 78 korban per satu miliar penumpang meskipun laju kecelakaan menurun (International Civil Aviation Organization, 2025). Ketimpangan antara durasi dan risiko tersebut menjadikan *autobrake system*, yaitu sistem yang memberikan tekanan rem terukur secara otomatis setelah roda menyentuh landasan, sebagai salah satu sistem penentu keselamatan pada fase ini (Boeing, 2018; Crane Aerospace & Electronics, 2026).

Kajian mutakhir mengenai sistem pengereman pesawat bergerak ke arah pemantauan kondisi berbasis data. Jammal (2025) memanfaatkan *machine learning* untuk mengklasifikasikan tingkat keparahan keausan rem karbon sebagai bagian dari *predictive maintenance*, sedangkan Mendoza Lopetegui dkk. (2023) menegaskan melalui tinjauan sistematis bahwa pendekatan berbasis data telah menjadi tren utama dalam pemantauan kondisi dan penggunaan rem pesawat. Jiao dkk. (2021) mengembangkan model pengenalan gangguan pada sistem rem pada tataran simulasi. Pada ranah operator, Mofokeng dkk. (2020) menunjukkan melalui analisis Pareto bahwa ATA Chapter 32 yang mencakup roda pendarat dan sistem pengereman termasuk kelompok penyumbang terbesar laporan gangguan awak pesawat.

Analisis kegagalan komponen pesawat pada operator Indonesia juga telah dilakukan pada beberapa sistem. Bimantara dkk. (2026) menganalisis kegagalan *brake servo valve* pada *main landing gear* Airbus A330 dengan metode FMEA dan FTA dan menemukan katup sebagai titik kritis keandalan, sedangkan Anchiby dkk. (2026) menganalisis kegagalan *cabin rate of climb indicator* pada Boeing 737-800 berbasis data perawatan. Perencanaan perawatan berbasis keandalan juga telah diterapkan pada *ram air actuator* Boeing 737 NG (Setiawan dkk., 2021) dan sistem kelistrikan *auxiliary power unit* Boeing 737-500 (Taaqbier dkk., 2022). Ringkasan penelitian terdahulu yang relevan disajikan pada bagian berikut.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	Mofokeng dkk. (2020)	Analysis of aircraft maintenance processes and cost	Memetakan proses dan biaya perawatan armada	Studi kasus dengan analisis Pareto atas laporan gangguan awak pesawat	ATA Chapter 32 termasuk kelompok bab yang secara kumulatif menyumbang 80% laporan gangguan	Mendukung penggunaan diagram Pareto pada data perawatan dan menegaskan tingginya beban gangguan pada sistem roda pendarat dan pengereman
2	Jiao dkk. (2021)	A novel aircraft brake disturbance recognition model	Mengenali gangguan pada sistem pengereman pesawat	Pemodelan matematis dan simulasi	Model pengenalan gangguan rem dengan akurasi yang baik pada kondisi simulasi	Menunjukkan kompleksitas gangguan sistem rem, namun belum diuji pada kejadian operasional nyata
3	Mendoza Lopetegui dkk. (2023)	Active and data-driven health and usage monitoring of aircraft brakes	Meninjau perkembangan pemantauan kondisi dan penggunaan rem pesawat	Tinjauan pustaka sistematis	Pendekatan berbasis data menjadi tren utama pemantauan kondisi rem	Menegaskan bahwa ketersediaan data kondisi yang terperinci menjadi prasyarat, yang justru menjadi kelemahan pada kasus tanpa temuan kerusakan
4	Jammal (2025)	Advancing aviation safety through predictive maintenance: carbon brake wear severity classification	Mengklasifikasi tingkat keparahan keausan rem karbon	Machine learning atas data operasional rem	Model klasifikasi keparahan keausan rem karbon untuk predictive maintenance	Menunjukkan arah predictive maintenance pada sistem rem, tetapi belum menyentuh fenomena autobrake disarm
5	Bimantara dkk. (2026)	Analisis kegagalan brake servo valve hydraulic system blue pada main landing gear Airbus A330	Menganalisis kegagalan brake servo valve pada sistem hidrolik	FMEA dan FTA	Katup servo teridentifikasi sebagai titik kritis keandalan sistem pengereman	Menjadi pembanding analisis kegagalan komponen rem, namun terbatas pada kerusakan yang terkonfirmasi secara fisik

Penelitian terdahulu tersebut memiliki dua keterbatasan yang menjadi celah penelitian ini. Pertama, seluruhnya berfokus pada kegagalan yang kerusakannya dapat dikonfirmasi secara fisik atau disimulasikan, sedangkan pada kasus *autobrake disarm illuminated after touchdown* justru mayoritas kejadian tidak menghasilkan temuan kerusakan pada saat pengujian di darat. Kedua, pendekatan yang digunakan bersifat kuantitatif atau berbasis simulasi laboratorium, sehingga faktor prosedur kerja, kualitas dokumentasi, dan pemahaman personel tidak ikut tertangkap, padahal ketiganya menentukan apakah suatu gangguan berhasil diisolasi atau tidak. Kebaruan penelitian ini terletak pada penelusuran akar penyebab justru pada kategori kegagalan yang tidak terkonfirmasi, dengan menggabungkan data perawatan operator dan keterangan personel pemeliharaan pada satu fenomena operasional yang spesifik. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor teknis dan operasional penyebab kejadian *autobrake disarm illuminated after touchdown* pada Boeing 737-8 MAX, menganalisis akar penyebab kategori kegagalan yang paling dominan termasuk peran faktor manusia, serta merumuskan rekomendasi tindakan perbaikan yang dapat diterapkan operator.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif dengan jenis studi kasus yang bersifat deskriptif. Metode kualitatif dipilih karena data yang dihimpun berupa uraian kata, catatan perawatan, dokumen teknis, dan keterangan narasumber, bukan angka hasil pengukuran, serta karena peneliti berperan sebagai instrumen utama (Sugiyono, 2019). Sifat deskriptif dipilih karena tujuan penelitian adalah menggambarkan keadaan yang sebenarnya terjadi di lapangan tanpa memberikan perlakuan terhadap objek yang diteliti (Sandelowski, 2000; Doyle dkk., 2020). Rancangan studi kasus dipilih karena penelitian memusatkan perhatian pada satu peristiwa yang dibatasi secara jelas oleh objek, tempat, dan waktu tertentu (Baxter & Jack, 2008). Penelitian dilaksanakan di PT. Airfast Indonesia, Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta, Tangerang, Banten, pada September 2025 sampai Februari 2026. Objek penelitian adalah *autobrake system* pada dua unit Boeing 737-8 MAX dengan registrasi PK-OFI dan PK-OFM. Data kejadian yang dianalisis mencakup periode 16 Juni 2024 sampai 28 Juni 2026. Peralatan utama yang digunakan dalam proses penelusuran gangguan di lapangan adalah fitur *Built-In Test Equipment* (BITE) yang tertanam pada *Antiskid/Autobrake Control Unit* (AACU), yaitu perangkat uji mandiri yang menampilkan pesan kesalahan tersimpan setelah suatu gangguan terjadi, serta alat ukur kelistrikan standar untuk pengujian kontinuitas rangkaian.

Teknik pengumpulan data ditempuh melalui tiga cara. Pertama, studi dokumentasi atas *Aircraft Maintenance Logbook* (AML), *Deferred Defect List* (DDL), *Aircraft Maintenance Manual* (AMM), *Interactive Fault Isolation Manual* (IFIM) Task 32-42-00-810-926, *Minimum Equipment List* (MEL), dan *Work Order*. Kedua, observasi lapangan pada area *line maintenance* terhadap proses penelusuran gangguan. Ketiga, wawancara tidak terstruktur, yaitu wawancara bebas tanpa pedoman pertanyaan yang tersusun sistematis (Sugiyono, 2019), terhadap tiga responden pemegang *Aircraft Maintenance Engineer License* (AMEL) dengan *type rating* Boeing 737-8 MAX. Responden dipilih secara *purposive* berdasarkan pertimbangan bahwa yang bersangkutan terlibat langsung dalam penanganan kejadian yang diteliti. Identitas responden disamarkan dalam bentuk kode sesuai kesepakatan dengan perusahaan sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Responden Wawancara

Kode Responden	Jabatan	Kualifikasi
Responden 1	Supervisor Line Maintenance	Pemegang AMEL dengan type rating Boeing 737-8 MAX
Responden 2	Engineer in Charge	Pemegang AMEL dengan type rating Boeing 737-8 MAX
Responden 3	Aircraft Maintenance Engineer	Pemegang AMEL dengan type rating Boeing 737-8 MAX

Hasil observasi dan wawancara diolah mengikuti alur reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan (Sugiyono, 2019). Pada tahap reduksi, seluruh entri AML dan DDL diseleksi dan digabungkan apabila berasal dari satu rangkaian *troubleshooting* yang sama, sehingga satu rangkaian investigasi dihitung sebagai satu kasus. Pada tahap penyajian, hasil seleksi disusun dalam bentuk tabel rekapitulasi dan diagram. Pada tahap penarikan kesimpulan, pola yang muncul ditafsirkan melalui kerangka *Root Cause Analysis*, yaitu metode penelusuran hubungan sebab-akibat hingga tingkat paling mendasar sehingga yang ditemukan bukan sekadar penyebab langsung melainkan juga faktor sistemik (Doggett, 2005; Vanden Heuvel dkk., 2005). Kerangka tersebut dioperasikan melalui diagram Pareto untuk menentukan kategori kegagalan dominan, diagram *fishbone* untuk menelusuri akar penyebab kategori dominan pada faktor *man*, *material*, *method*, *environment*, dan *machine* (Asmoko, 2013), serta kerangka 5W+1H untuk menyusun tindakan perbaikan. Tolok ukur yang

digunakan untuk menilai dominasi kategori kegagalan adalah persentase frekuensi dan persentase kumulatif terhadap total kasus, dengan acuan pola 80/20 pada diagram Pareto. Keabsahan data diuji melalui triangulasi sumber dengan membandingkan keterangan ketiga responden, triangulasi teknik dengan membandingkan hasil wawancara terhadap dokumen perawatan dan hasil pengamatan langsung, serta *member check* dengan menyampaikan kembali rangkuman hasil wawancara kepada responden sebelum data digunakan (Sugiyono, 2019; Doyle dkk., 2020).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. Airfast Indonesia. Penelusuran AML dan DDL pada rentang 16 Juni 2024 sampai 28 Juni 2026 menghasilkan 19 kasus kegagalan *autobrake disarm illuminated after touchdown* setelah entri yang berasal dari satu rangkaian *troubleshooting* digabungkan menjadi satu kasus. Sebanyak 16 kasus terjadi pada PK-OFI dan 3 kasus pada PK-OFM. Rekapitulasi kejadian menurut tahun dan registrasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Kejadian Autobrake Disarm Illuminated After Touchdown

Tahun	Registrasi	Nomor AML/DDL	Jumlah Kasus
2024	PK-OFI; PK-OFM	AML JET-468; JET-831; DDL 07-07432; DDL 07-07434; DDL 07-07113; DDL 07-07124	7
2025	PK-OFI	AML JET-2857; 3334; 3632; 3707; 3749; 3774; 3798; 3843; 1308; 4159; 4162-4168	11
2026	PK-OFI; PK-OFM	AML JET-4477; AML OFM-JET-4820	2
Total			19

Tabel 2 menunjukkan PK-OFI menyumbang 16 dari 19 kasus atau 84,2% dan PK-OFM menyumbang 3 kasus atau 15,8%. Sebaran menurut tahun adalah 7 kasus pada 2024, 11 kasus pada 2025, dan 2 kasus pada 2026. Kejadian tercatat pada kedua registrasi pesawat. Seluruh kasus diklasifikasikan berdasarkan hasil investigasi yang tercatat pada AML dan DDL dengan mengacu pada IFIM Task 32-42-00-810-926 dan hasil pengujian BITE pada AACU. Klasifikasi menghasilkan tiga kategori, yaitu *No Fault Found* (NFF) atau intermiten, kerusakan AB Solenoid Pressure Switch, dan kerusakan *pedal switch* S762 pada PK-OFI atau S763 pada PK-OFM. Hasil pengolahan data Pareto disajikan pada Tabel 3 dan rincian menurut registrasi pada Tabel 4.

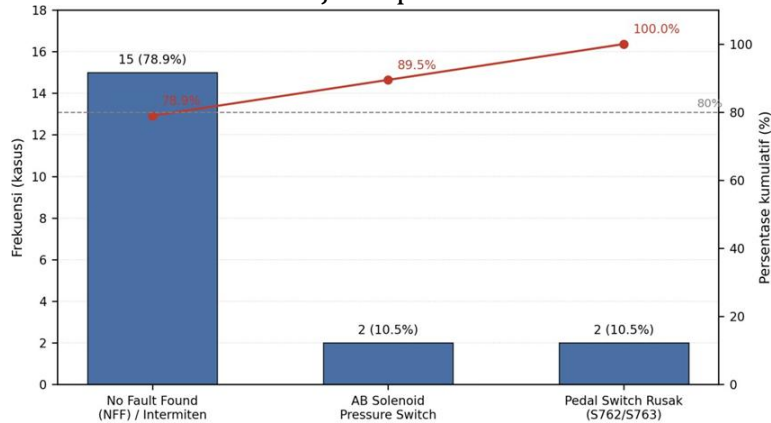
Tabel 3. Data Pareto Jenis Kegagalan Autobrake Disarm

Jenis Kegagalan	Frekuensi	Persentase (%)	Frekuensi Kumulatif	Persentase Kumulatif (%)
No Fault Found (NFF) / Intermiten	15	78,9	15	78,9
AB Solenoid Pressure Switch rusak	2	10,5	17	89,5
Pedal Switch rusak (S762/S763)	2	10,5	19	100,0
Total	19	100,0		

Tabel 4. Rincian Jenis Kegagalan per Registrasi Pesawat

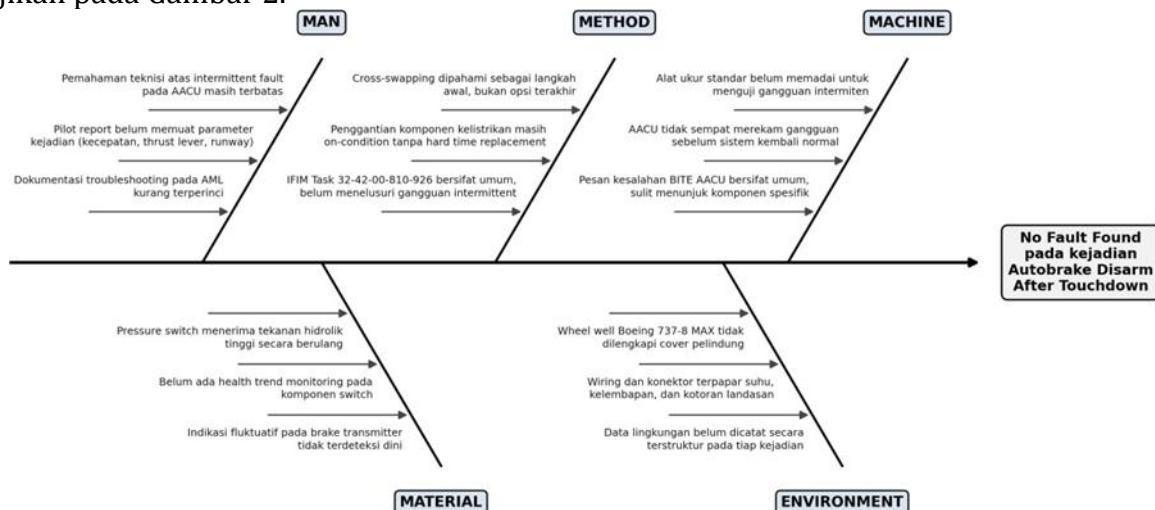
Jenis Kegagalan	PK-OFI	PK-OFM	Total
No Fault Found (NFF) / Intermiten	13	2	15
AB Solenoid Pressure Switch rusak	2	0	2
Pedal Switch rusak (S762/S763)	1	1	2
Total	16	3	19

Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan kategori NFF atau intermiten mendominasi dengan 15 kasus atau 78,9%, sedangkan kerusakan AB Solenoid Pressure Switch dan kerusakan *pedal switch* masing-masing menyumbang 2 kasus atau 10,5%. Kategori *pedal switch* rusak menggabungkan *Left Pedal Switch S762* pada PK-OFI dan *Right Brake Pedal Switch S763* pada PK-OFM karena keduanya merupakan jenis komponen yang sama. Kategori NFF tetap mendominasi pada kedua pesawat, yaitu 13 dari 16 kasus pada PK-OFI dan 2 dari 3 kasus pada PK-OFM. Visualisasi data Pareto disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Pareto Jenis Kegagalan Autobrake Disarm Illuminated After Touchdown

Gambar 1 menunjukkan persentase kumulatif mencapai 78,9% pada kategori pertama, mendekati garis acuan 80%. Empat kasus yang akar penyebabnya terkonfirmasi ditindaklanjuti dengan penggantian komponen. Pada DDL 07-07434 (PK-OFI), BITE menampilkan pesan SOL P SW dan pemeriksaan lanjutan menunjukkan tidak adanya kontinuitas pada AB Solenoid Valve Pressure Switch. Pada AML JET-3843 (PK-OFI), gejala berulang pada dua penerbangan berturut-turut diikuti penggantian komponen yang sama. Pada DDL 07-07124 (PK-OFM), *fault isolation* mengidentifikasi *Right Brake Pedal Switch S763* dalam kondisi *inoperative*. Pada AML JET-4162-4168 (PK-OFI), *Left Pedal Switch S762* diganti meskipun BITE tidak menampilkan pesan kesalahan. Kasus pada PK-OFM tanggal 28 Juni 2026 menunjukkan rem tetap *lock* meskipun lampu *autobrake disarm* menyala dan kembali normal setelah *selector brake* dipindahkan ke posisi *manual off*, dengan hasil BITE tanpa temuan kesalahan. Penelusuran akar penyebab kategori NFF dilakukan melalui diagram *fishbone* berdasarkan hasil wawancara terhadap ketiga responden pada Tabel 1. Hasil pemetaan disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Fishbone Akar Penyebab No Fault Found pada Kejadian Autobrake Disarm

Pada faktor *man*, responden menyatakan dokumentasi langkah *troubleshooting* pada AML kurang terperinci sehingga langkah yang telah ditempuh sulit ditelusuri teknisi berikutnya, keterangan *pilot report* belum memuat parameter kecepatan pesawat, posisi *thrust lever*, dan kondisi landasan saat lampu menyala, serta pemahaman sebagian teknisi mengenai perilaku gangguan *intermittent* pada AACU masih terbatas. Pada faktor *material*, *pressure switch* menerima tekanan hidrolik tinggi secara berulang sepanjang umur pakainya tanpa disertai pemantauan tren kondisi, sehingga indikasi yang berubah-ubah pada *brake transmitter* baru diketahui setelah muncul keluhan awak pesawat. Pada faktor *method*, prosedur IFIM Task 32-42-00-810-926 belum menyediakan langkah khusus untuk gangguan *intermittent*, penggantian komponen kelistrikan *autobrake* seluruhnya menggunakan filosofi *on-condition* tanpa batas usia pakai, dan strategi *cross-swapping* dinyatakan responden sebagai langkah terakhir yang hanya sah dilakukan apabila kedua komponen yang dipertukarkan belum terbukti rusak. Pada faktor *environment*, area *wheel well* Boeing 737-8 MAX tidak dilengkapi penutup pelindung sehingga jalinan kabel dan konektor terpapar langsung pada perubahan suhu, kelembapan, dan kotoran landasan, sementara parameter lingkungan tersebut belum dicatat pada entri kejadian. Pada faktor *machine*, pesan kesalahan BITE AACU bersifat umum dan sifat gangguan yang *intermittent* menyebabkan AACU tidak selalu merekam gangguan sebelum sistem kembali normal. Setiap akar penyebab tersebut dijabarkan ke dalam kerangka 5W+1H untuk menghasilkan rumusan tindakan perbaikan sebagaimana disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rumusan Corrective Action dengan Kerangka 5W+1H

Faktor	What	Why	How	Who	Where	When
Man	Dokumentasi troubleshooting saat kejadian NFF/intermiten kurang detail	Belum ada form standar untuk mencatat kondisi saat troubleshooting kegagalan intermiten	Menyusun dan menerapkan form troubleshooting standar yang mewajibkan pencatatan fase penerbangan, kondisi runway, dan detail gejala	Engineering & Quality Assurance	Line Maintenance Station	Setiap kejadian baru, dievaluasi tiap 6 bulan
Man	Informasi pilot report mengenai gejala disarm kurang lengkap	Belum ada standar pilot report khusus untuk kejadian autobrake disarm	Berkoordinasi dengan Flight Operation menyusun panduan pilot report yang memuat pertanyaan spesifik terkait autobrake disarm	Engineering & Flight Operation	Flight Operation Unit	Sebelum penerbangan berikutnya setelah kejadian dilaporkan
Man	Kurangnya pengetahuan teknisi mengenai karakteristik intermittent fault pada AACU	Belum ada pelatihan khusus mengenai sistem autobrake AACU pada varian Boeing 737-8 MAX	Mengadakan refresher training berkala mengenai sistem autobrake B737-8 MAX bagi teknisi dan engineer	Learning Center & Engineering	Training Center PT. Airfast Indonesia	Setiap satu tahun sekali
Material	Switch bekerja pada tekanan tinggi terus-menerus sehingga timbul indikasi tambahan pada brake transmitter	Belum ada analisis keandalan terhadap komponen switch yang bekerja pada tekanan tinggi berulang	Melakukan analisis reliability pada AB Solenoid Pressure Switch dan Pedal Switch untuk mengetahui batas usia pakai komponen	Engineering (Reliability Unit)	Engineering Unit	Saat tren kegagalan meningkat, evaluasi tahunan
Material	Belum ada monitoring kondisi (health trend) pada AB Solenoid Pressure Switch dan Pedal Switch	Program perawatan saat ini bersifat on-condition tanpa data tren kondisi komponen	Memanfaatkan data BITE AACU untuk memantau tren parameter tekanan dan kondisi switch secara berkala	Engineering	Engineering Unit	Setiap A-Check
Method	Prosedur IFIM Task 32-42-00-810-926 bersifat umum dan kurang mendalam untuk troubleshooting	IFIM belum mengakomodasi karakteristik unik kegagalan intermiten pada tipe MAX	Mengajukan technical query ke Boeing/Technical Services untuk penjabaran tambahan pada IFIM, serta menyusun local troubleshooting guide pelengkap	Engineering / Technical Services	Engineering Unit	Setelah akumulasi kasus NFF signifikan



Method	intermiten Penggantian komponen kelistrikan autobrake masih on-condition tanpa interval hard time	Belum tersedia data reliability yang cukup untuk menetapkan interval hard time	Melakukan kajian Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk menentukan kebutuhan hard time replacement pada komponen kritis	Engineering (Reliability Unit)	Engineerin g Unit	Evaluasi program perawatan tahunan
Method	Kesalahpahaman prioritas strategi cross-swapping yang dianggap langkah awal	Belum ada SOP tertulis yang menegaskan urutan prioritas troubleshooting sebelum cross-swap dilakukan	Menyusun dan menyosialisasikan SOP troubleshooting berjenjang yang menegaskan cross-swapping hanya dilakukan setelah komponen dipastikan belum terkonfirmasi rusak	Engineering & Quality Assurance	Briefing Room / Line Maintenance	Saat briefing sebelum pekerjaan troubleshooting
Environm ent	Area wheel well tidak memiliki cover pelindung sehingga komponen terpapar suhu dan kelembapan langsung	Merupakan karakteristik desain pesawat sehingga tidak dapat dimodifikasi operator	Melakukan inspeksi visual tambahan secara berkala pada wiring dan konektor di area wheel well, khususnya setelah operasi pada cuaca ekstrem	Certifying Staff / Line Maintenance	Wheel Well Area	Setiap transit check atau setelah cuaca ekstrem
Environm ent	Belum ada pencatatan data lingkungan (suhu, kelembapan, kondisi runway) secara terstruktur	Format AML/DDI saat ini belum mewajibkan pencatatan parameter lingkungan	Menambahkan kolom pencatatan kondisi lingkungan pada form troubleshooting/AML setiap kejadian autobrake disarm	Engineering / Quality Assurance	Engineerin g Unit	Diterapkan mulai periode pelaporan berikutnya
Machine	Pesan BITE AACU bersifat umum dan sulit menunjuk komponen spesifik yang bermasalah	Desain BITE AACU tidak dirancang memberikan fault code granular pada level komponen	Menyampaikan feedback ke manufaktur terkait keterbatasan BITE, serta melengkapi pemeriksaan manual tambahan saat BITE menampilkan pesan umum	Engineering	Engineerin g Unit	Saat kejadian NFF berulang
Machine	Sifat intermiten membuat AACU tidak sempat merekam gangguan sebelum sistem kembali normal	Keterbatasan sistem monitoring real-time pada BITE AACU yang ada saat ini	Mengarahkan flight crew agar segera menghubungi maintenance control saat kejadian terjadi sebelum reset, serta mengusulkan evaluasi upgrade software BITE ke Boeing	Flight Crew (koordinasi) & Engineering	Cockpit / Engineerin g Unit	Saat kejadian berlangsung

Pembahasan

Dominasi kategori *No Fault Found* sebesar 78,9% menunjukkan bahwa prosedur diagnosis yang berlaku belum mampu menangkap karakteristik gangguan yang bersifat sementara. Pengujian BITE hanya dapat menampilkan pesan kesalahan yang sempat tersimpan, sedangkan pada gangguan *intermittent* sistem kerap kembali ke kondisi normal sebelum pesan terekam. Hal ini sejalan dengan konsep dasar *Root Cause Analysis* yang menyatakan bahwa penyebab langsung sering kali bukan akar permasalahan, sehingga penelusuran perlu dilanjutkan hingga faktor sistemik yang membuat kegagalan berulang (Doggett, 2005; Vanden Heuvel dkk., 2005). Pada kasus ini, faktor sistemik tersebut berupa keterbatasan alat diagnosis, prosedur yang belum spesifik, dan kualitas informasi yang dipertukarkan antarpersonel. Temuan bahwa sistem roda pendarat dan pengereman merupakan penyumbang gangguan yang menonjol sesuai dengan hasil Mofokeng dkk. (2020), yang melalui analisis Pareto menempatkan ATA Chapter 32 pada kelompok penyumbang 80% laporan gangguan awak pesawat. Perlu dicatat bahwa penelitian tersebut menggunakan armada Airbus A340-600 pada rute jarak jauh, sehingga kesesuaian yang muncul bersifat pola umum dan bukan perbandingan langsung antararmada. Kesamaan pola pada dua jenis armada yang berbeda justru memperkuat dugaan bahwa beban gangguan pada sistem ini merupakan karakteristik ATA Chapter 32 secara umum, karena komponennya menerima tegangan dan keausan terus-menerus selama operasi.

Sebaliknya, hasil penelitian ini memperlihatkan pertentangan yang bermakna dengan arah penelitian Jammal (2025) dan Mendoza Lopetegui dkk. (2023). Kedua penelitian tersebut menempatkan ketersediaan data kondisi sebagai landasan pemantauan berbasis data dan *predictive maintenance*. Pada kasus yang diteliti, justru ketersediaan data itulah yang paling lemah, karena dokumentasi *troubleshooting* dan *pilot report* belum memuat parameter kejadian dan parameter lingkungan sama sekali tidak dicatat. Dengan demikian, penerapan pendekatan berbasis data pada fenomena *autobrake disarm* tidak dapat langsung dilakukan sebelum kualitas pencatatan di tingkat *line maintenance* diperbaiki. Temuan ini melengkapi kedua penelitian tersebut dengan menunjukkan prasyarat organisasional yang harus dipenuhi lebih dahulu. Perbedaan juga tampak apabila dibandingkan dengan Bimantara dkk. (2026) dan Jiao dkk. (2021). Bimantara dkk. (2026) menggunakan FMEA dan FTA pada kegagalan yang merusak fisiknya terkonfirmasi, sedangkan Jiao dkk. (2021) bekerja pada tataran simulasi. Pada penelitian ini mayoritas kasus justru tidak menghasilkan temuan kerusakan, sehingga metode yang bertumpu pada moda kegagalan komponen menjadi kurang memadai dan pendekatan kualitatif yang menggabungkan dokumen perawatan dengan keterangan personel menjadi lebih sesuai. Hal ini menegaskan bahwa pemilihan alat analisis kegagalan perlu menyesuaikan sifat kegagalan yang dihadapi, bukan semata mengikuti metode yang lazim digunakan. Rumusan tindakan perbaikan pada Tabel 5 sebagian besar bersifat administratif dan prosedural, seperti formulir *troubleshooting* baku, panduan *pilot report*, pelatihan penyegaran, dan SOP *troubleshooting* berjenjang, sehingga dapat diterapkan tanpa modifikasi perangkat keras. Pendekatan serupa juga terlihat pada Anchiby dkk. (2026), yang menempatkan perbaikan prosedur dan dokumentasi sebagai tindak lanjut analisis kegagalan pada operator. Adapun usulan kajian *Reliability Centered Maintenance* untuk menetapkan interval *hard time replacement* pada komponen *switch* kritis merupakan kelanjutan logis dari praktik perencanaan perawatan berbasis keandalan yang telah diterapkan pada sistem lain di lingkungan operator nasional (Setiawan dkk., 2021; Taaqbier dkk., 2022).

KESIMPULAN

Kejadian *autobrake disarm illuminated after touchdown* pada Boeing 737-8 MAX registrasi PK-OFI dan PK-OFM sepanjang 16 Juni 2024 sampai 28 Juni 2026 sebagian besar tidak dapat dikonfirmasi penyebab teknisnya, dengan kategori *No Fault Found* atau intermiten mencapai 78,9% dan hanya 21,1% kasus yang penyebabnya terkonfirmasi berupa kerusakan AB Solenoid Pressure Switch dan *pedal switch*. Penelusuran akar penyebab menunjukkan bahwa tingginya proporsi kasus tanpa temuan kerusakan bukan semata persoalan keandalan komponen, melainkan hasil interaksi lima faktor, yaitu keterbatasan alat diagnosis BITE dalam merekam gangguan sesaat, prosedur IFIM yang belum menyediakan langkah khusus untuk gangguan *intermittent*, filosofi penggantian komponen yang sepenuhnya *on-condition*, keterpaparan komponen kelistrikan pada area *wheel well* yang tidak berpelindung, dan kualitas informasi yang dipertukarkan antarpersonel. Faktor manusia memberikan kontribusi paling menonjol melalui dokumentasi *troubleshooting* yang kurang terperinci dan *pilot report* yang belum memuat parameter kejadian.

Temuan baru penelitian ini berupa model penanganan kegagalan intermiten yang menempatkan kualitas pencatatan kejadian sebagai prasyarat diagnosis, bukan sebagai pelengkap administratif. Model tersebut dirumuskan dalam bentuk rangkaian tindakan perbaikan berbasis 5W+1H yang mencakup formulir *troubleshooting* baku dengan pencatatan fase penerbangan dan kondisi lingkungan, panduan *pilot report* khusus, pelatihan penyegaran teknis berkala, pengajuan *technical query* kepada pabrikan untuk penyempurnaan IFIM, kajian *Reliability Centered Maintenance* guna menetapkan interval *hard time replacement*, dan

SOP *troubleshooting* berjenjang yang menempatkan *cross-swapping* sebagai langkah terakhir. Penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah objek, yaitu dua unit pesawat pada satu operator, sehingga hasilnya tidak dimaksudkan untuk digeneralisasi ke seluruh armada Boeing 737-8 MAX. Keterbatasan lain terletak pada faktor lingkungan yang belum dapat disimpulkan sebagai akar penyebab yang pasti karena parameter suhu, kelembapan, dan kondisi landasan tidak tersedia dalam data. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan periode data yang lebih panjang dengan jumlah pesawat yang lebih banyak, mencatat parameter lingkungan secara kuantitatif, serta menguji efektivitas tindakan perbaikan yang diusulkan setelah diterapkan operator. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Penerbangan Indonesia Curug atas dukungan penyelenggaraan penelitian, kepada dosen pembimbing atas arahan selama penyusunan, serta kepada PT. Airfast Indonesia, khususnya unit Engineering dan Line Maintenance, atas izin akses data dan kesediaan responden untuk diwawancarai.

DAFTAR PUSTAKA

- Anchiby, F., Herwanto, D., & Kalbuana, N. (2026). Analisis kegagalan cabin rate of climb indicator P/N WL501RC1 pada Boeing 737-800 di PT. GMF AeroAsia Tbk. *Jurnal Teknik*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.55606/teknik.v6i1.8580>
- Asmoko, H. (2013). *Teknik ilustrasi masalah: Fishbone diagram*. Balai Diklat Kepemimpinan, Badan Pendidikan dan Pelatihan Keuangan, Kementerian Keuangan Republik Indonesia.
- Baxter, P., & Jack, S. (2008). Qualitative case study methodology: Study design and implementation for novice researchers. *The Qualitative Report*, 13(4), 544–559. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2008.1573>
- Bimantara, B., Riyanti, L. E., & Herdianto, D. (2026). Analisis kegagalan brake servo valve hydraulic system blue pada main landing gear pesawat Airbus A330 dengan metode FMEA dan FTA di PT. XYZ. *Jurnal Teknik*, 6(1), 13–24. <https://doi.org/10.55606/teknik.v6i1.8651>
- Boeing. (2018). *Boeing B737-600/700/800/900 (CFM56) to B737-7/8/9 (CFM LEAP-1B) differences: Landing gear* [Training manual]. The Boeing Company.
- Boeing Commercial Airplanes. (2026). *Statistical summary of commercial jet airplane accidents: Worldwide operations 2016–2025*. The Boeing Company.
- Crane Aerospace & Electronics. (2026). *Autobrake systems* [Technical product description]. Crane Aerospace & Electronics.
- Doggett, A. M. (2005). Root cause analysis: A framework for tool selection. *Quality Management Journal*, 12(4), 34–45. <https://doi.org/10.1080/10686967.2005.11919269>
- Doyle, L., McCabe, C., Keogh, B., Brady, A., & McCann, M. (2020). An overview of the qualitative descriptive design within nursing research. *Journal of Research in Nursing*, 25(5), 443–455. <https://doi.org/10.1177/1744987119880234>
- Federal Aviation Administration. (2026). *Service difficulty reporting system: Boeing 737-8 MAX records 2020–2025* [Data set]. U.S. Department of Transportation.
- International Civil Aviation Organization. (2025). *Safety report 2025 edition: State of global aviation safety*. ICAO.
- Jammal, P. (2025). Advancing aviation safety through predictive maintenance: A machine learning approach for carbon brake wear severity classification. *Aerospace*, 12(7), Article 602. <https://doi.org/10.3390/aerospace12070602>
- Jiao, Z., Bai, N., Sun, D., Liu, X., Shang, Y., & Wu, S. (2021). A novel aircraft brake disturbance recognition model. *Aerospace Science and Technology*, 107, Article 106310. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.106310>



- Mendoza Lopetegui, J. J., Papa, G., & Tanelli, M. (2023). Active and data-driven health and usage monitoring of aircraft brakes. *IFAC-PapersOnLine*, 56(2), 6203–6208. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.735>
- Mofokeng, T., Mativenga, P. T., & Marnewick, A. (2020). Analysis of aircraft maintenance processes and cost. *Procedia CIRP*, 90, 467–472. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.115>
- Sandelowski, M. (2000). Whatever happened to qualitative description? *Research in Nursing & Health*, 23(4), 334–340. [https://doi.org/10.1002/1098-240X\(200008\)23:4<334::AID-NUR9>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/1098-240X(200008)23:4<334::AID-NUR9>3.0.CO;2-G)
- 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. *JAMERE*, 1(2), 61–70. <https://doi.org/10.52158/jamere.v1i2.246>
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Taaqbier, M., Setiawan, F., & Anhar, M. (2022). Perencanaan preventive maintenance menggunakan metode reliability pada electrical system auxiliary power unit Boeing 737-500. *Injection*, 2(1), 20–29. <https://doi.org/10.58466/injection.v2i1.1463>
- Vanden Heuvel, L. N., Lorenzo, D. K., Jackson, L. O., Hanson, W. E., Rooney, J. J., & Walker, D. A. (2005). *Root cause analysis handbook: A guide to effective incident investigation*. ABS Consulting.