



Analisis penyebab kegagalan sistem pengereman pada kejadian runway excursion pesawat cessna-208b di bandar udara ilaga

^{1*}Irfan Ibrahim, ²Didik Sulistyo, ³Abdan Mughni Syafa'at

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

*Corresponding Author e-mail: irfanibrahim@gmail.com

Abstract

Aviation safety is a primary and absolute aspect of air transportation operations. Optimal performance of aircraft mechanical systems is an absolute requirement for the prevention of aviation accidents. One of the most critical components is the braking system, particularly during the landing roll phase. The failure of the braking system to adequately absorb kinetic energy can be fatal, especially at pioneer airports such as Ilaga Airport (WAYL), which has a very short runway and extreme elevation. This research is motivated by the runway excursion incident involving a Cessna 208B aircraft registered as PK-PPI on August 25, 2025. Based on Mandatory Occurrence Report (MOR) data, the aircraft failed to decelerate post-landing and continued to travel freely even though the pilot had applied the brakes and reverse thrust. This study aims to deeply analyze the mechanical condition of the braking system prior to the incident, assess the compliance level of the brake lining component maintenance execution with applicable regulations, and identify the primary causal factors and systemic root causes of the reduction in braking effectiveness that led to the incident. This study employed a descriptive qualitative approach with a documentary study and open-ended questionnaire design. The research object focused on the technical maintenance track record of the PK-PPI fleet's braking system and personnel compliance with airworthiness regulations. Secondary data sources were obtained from official Directorate General of Civil Aviation documents, which include the MOR report, Cessna 208 Series Aircraft Maintenance Manual (AMM) Chapter 32, Aircraft Flight and Maintenance Log (AFML) documents, and Circular Letter of the Director General of Civil Aviation Number SE 01 of 2023. To validate factual findings scientifically, Data Triangulation was conducted through Expert Judgement involving practitioners holding an Aircraft Maintenance Engineer License (AMEL). The data analysis technique was carried out using Root Cause Analysis (RCA) through a Fishbone Diagram mapping to dissect the dimensions of Manpower, Method, Material, Measurement, and Environment. After static factors were set aside, the analysis continued vertically using the 5 Whys Analysis method to find the deepest causality chain of the deviations that triggered the systemic failure. The research results through the Fishbone Diagram mapping showed that the braking failure was triggered by three interconnected operational deviations. In the Method dimension, there was a delegation of brake component testing work instructions to the pilot without a standardized technical handover Standard Operating Procedure (SOP). In the Manpower dimension, this procedural weakness was exacerbated by the lack of supervision, physical verification, and direct assistance by the mechanic (LAME) on the ground. In the Measurement dimension, administrative validation of the aircraft's airworthiness documents was neglected. Based on the 5 Whys Analysis, the systemic root cause of this incident was the collapse of the Quality Gate system (Final Airworthiness Supervision). LAME prematurely issued a Return to Service (RTS) approval even though there was no specific recording log regarding the New Brake Burn-In testing, and the absence of a validation signature from the pilot in command (PIC) in the AFML Rectification column was ignored. This direct violation of Circular Letter SE 01 of 2023 became a fatal flaw that allowed the aircraft to fly in an un-airworthy condition, thereby triggering the Brake Glazing phenomenon on the runway. As a mitigation measure, it is recommended to enforce discipline in filling out the AFML through strict field inspections by Quality Assurance, optimize Refresher Training related to the Circular Letter and AMM mandates, and supervise the obligation of the technician's physical presence to validate component effectiveness on the apron before the airworthiness document is signed and issued.

Keywords: cessna 208B PK-PPI; braking system; runway excursion; Root Cause Analysis; Quality Gate.

Abstrak

Keselamatan penerbangan merupakan aspek utama dan mutlak dalam penyelenggaraan transportasi udara. Kinerja sistem mekanikal pesawat yang optimal merupakan syarat mutlak dalam pencegahan kecelakaan penerbangan. Salah satu komponen paling kritis adalah sistem pengereman, khususnya pada fase pendaratan (*landing roll*). Kegagalan sistem pengereman dalam menyerap energi kinetik secara adekuat dapat berakibat fatal, terutama di bandar udara perintis seperti Bandar Udara Ilaga (WAYL) yang memiliki landasan pacu sangat pendek dan elevasi ekstrem. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh insiden *runway excursion* yang melibatkan pesawat Cessna 208B dengan registrasi PK-PPI pada 25 Agustus 2025. Berdasarkan data *Mandatory Occurrence Report* (MOR), pesawat gagal mengalami deselerasi pasca-pendaratan dan tetap melaju bebas meskipun penerbang telah mengaplikasikan rem dan dorongan balik (*reverse thrust*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi mekanis sistem pengereman secara mendalam sebelum insiden terjadi, menilai tingkat kesesuaian pelaksanaan pemeliharaan komponen *brake lining* dengan regulasi yang berlaku, serta mengidentifikasi faktor penyebab utama dan akar masalah sistemik dari penurunan efektivitas daya cengkeram rem tersebut yang berujung pada terjadinya insiden. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan desain studi dokumen dan kuesioner terbuka. Objek penelitian difokuskan pada rekam jejak teknis pemeliharaan sistem pengereman armada PK-PPI dan kepatuhan personel terhadap regulasi kelaikudaraan. Sumber data sekunder diperoleh dari dokumen resmi Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, yang meliputi laporan MOR, *Aircraft Maintenance Manual* (AMM) Cessna 208 Series Chapter 32, dokumen *Aircraft Flight and Maintenance Log* (AFML), dan Surat Edaran Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor SE 01 Tahun 2023.



Untuk mensahkan dan memvalidasi temuan faktual secara keilmuan kelaikudaraan, dilakukan Triangulasi Data melalui *Expert Judgement* yang melibatkan para praktisi pemegang lisensi *Aircraft Maintenance Engineer License* (AMEL). Teknik analisis data dilakukan menggunakan *Root Cause Analysis* (RCA) melalui pemetaan *Fishbone Diagram* untuk membedah dimensi *Manpower*, *Method*, *Material*, *Measurement*, dan *Environment*. Setelah faktor statis disisihkan, analisis dilanjutkan secara vertikal menggunakan metode *5 Whys Analysis* guna mencari rantai kausalitas terdalam dari penyimpangan yang memicu kegagalan sistemik. Hasil penelitian melalui pemetaan *Fishbone Diagram* menunjukkan bahwa kegagalan pengereman dipicu oleh tiga penyimpangan operasional yang saling mengikat. Pada dimensi *Method*, terdapat pendelegasian instruksi kerja pengujian komponen rem kepada penerbang tanpa dilandasi *Standard Operating Procedure* (SOP) serah-terima teknis yang baku. Pada dimensi *Manpower*, kelemahan prosedur ini diperparah oleh ketiadaan pengawasan, ketiadaan verifikasi fisik, maupun ketiadaan pendampingan langsung oleh mekanik (LAME) di darat. Pada dimensi *Measurement*, terjadi pengabaian validasi administratif pada dokumen kelaikudaraan pesawat. Berdasarkan penelusuran *5 Whys Analysis*, akar permasalahan (*root cause*) sistemik dari insiden ini adalah runtuhnya sistem *Quality Gate* (Pengawasan Kelaikudaraan Akhir). LAME secara prematur menerbitkan persetujuan *Return to Service* (RTS) meskipun tidak terdapat log pencatatan spesifik mengenai pengujian *New Brake Burn-In* dan dibiarkannya ketiadaan validasi tanda tangan dari penerbang (PIC) pada kolom *Rectification* AFML. Pelanggaran langsung terhadap Surat Edaran SE 01 Tahun 2023 ini menjadi celah fatal yang meloloskan pesawat terbang dalam kondisi *un-airworthy*, sehingga memicu fenomena *Brake Glazing* di landasan. Sebagai langkah mitigasi, direkomendasikan penegakan kedisiplinan pengisian AFML melalui inspeksi lapangan ketat oleh *Quality Assurance*, optimalisasi *Refresher Training* terkait mandat Surat Edaran dan AMM, serta pengawasan terhadap kewajiban kehadiran fisik teknisi untuk memvalidasi efektivitas komponen di apron sebelum penandatanganan dokumen kelaikudaraan diterbitkan.

Kata Kunci: cessna 208B PK-PPI; sistem pengereman; *runway excursion*; *Root Cause Analysis*; *Quality Gate*.

PENDAHULUAN

Keselamatan penerbangan merupakan aspek utama dan tak bisa ditawar dalam penyelenggaraan transportasi udara. Kinerja sistem mekanikal pesawat yang optimal merupakan syarat mutlak dalam pencegahan kecelakaan penerbangan, di mana kegagalan pemeliharaan komponen sering kali menjadi katalis utama terjadinya insiden di lapangan (Wood & Sweginnis, 2006). Dalam upaya menjaga keselamatan penerbangan, setiap operator wajib memastikan bahwa pesawat udara yang dioperasikan berada dalam kondisi laik udara serta seluruh kegiatan perawatan dilaksanakan sesuai dengan ketentuan pabrik yang berlaku.

Salah satu komponen paling kritis dalam mendukung keselamatan operasi penerbangan adalah sistem pengereman (*braking system*), khususnya pada fase pendaratan (*landing roll*). Sistem pengereman mengemban tugas mahaberas untuk menyerap energi kinetik masif dari pergerakan pesawat dan mengubahnya menjadi energi panas, sehingga pesawat dapat berhenti dengan aman dalam batas jarak landasan yang tersedia (Federal Aviation Administration, 2018). Kegagalan sistem pengereman dalam menghasilkan deselerasi yang adekuat, baik akibat keausan material, cacat pemeliharaan, maupun fenomena *brake glazing* (pengerasan kampas rem), merupakan penyumbang risiko tertinggi terhadap hilangnya kendali pesawat di darat (Dzulfiqar et al., 2025).

Kondisi kegagalan sistem pengereman ini menjadi sangat fatal apabila pesawat beroperasi di bandar udara perintis pegunungan. Ketika rem gagal berfungsi maksimal di landasan pacu yang pendek dan memiliki elevasi tinggi, pesawat kehilangan kemampuan menyerap energi kinetik, yang secara langsung akan memicu terjadinya kecelakaan *runway excursion* atau tergelincirnya pesawat keluar dari landasan (SKYbrary Aviation Safety, 2025).

Di Indonesia, penyelenggaraan kegiatan angkutan udara wajib memenuhi ketentuan keselamatan penerbangan sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan. Selain itu, pengoperasian pesawat udara oleh operator angkutan udara mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 33 Tahun 2022 (Civil Aviation Safety Regulation Part I19) yang mewajibkan keandalan program perawatan berkelanjutan.

Pada tanggal 25 Agustus 2025, ancaman keselamatan tersebut nyata terjadi melalui insiden *runway excursion* yang melibatkan armada pesawat Cessna 208B di Bandar Udara Ilaga. Berdasarkan Mandatory Occurrence Report (MOR), setelah pesawat melakukan pendaratan, penerbang (PIC) telah mengaplikasikan rem (*brake*) dan dorongan balik (*reverse thrust*), namun pesawat tidak mengalami perlambatan yang signifikan dan tetap melaju bebas (*brake fading*) hingga akhirnya mengalami kecelakaan. Kondisi faktual tersebut menunjukkan adanya anomali mekanis pada efektivitas sistem pengereman sesaat sebelum insiden terjadi.

Dalam investigasi kegagalan teknis penerbangan, evaluasi tidak boleh hanya berhenti pada gejala fisik yang tampak di permukaan, melainkan harus menelusuri rantai kausalitas sistemik pada proses pemeliharaan komponennya (Doggett, 2005). Efektivitas pengereman dipengaruhi oleh kondisi komponen, kepatuhan teknisi terhadap manual pemeliharaan, serta berjalannya sistem pengawasan (validasi) kelaikudaraan di darat (Latino et al., 2011). Oleh karena itu, diperlukan penelitian kualitatif untuk menganalisis kesesuaian pelaksanaan perawatan sistem pengereman armada Cessna 208B tersebut terhadap regulasi yang berlaku, serta menelusuri celah prosedur yang memicu hilangnya daya cengkeram rem di landasan.

Berdasarkan urgensi dan uraian fakta di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul: "Analisis Penyebab Kegagalan Sistem Pengereman pada Kejadian Runway Excursion Pesawat Cessna-208B di Bandar Udara Ilaga".

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Kualitatif Deskriptif dengan desain Studi Dokumen (Documentary Study) dan Kuesioner Terbuka. Pendekatan kualitatif deskriptif dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk membedah, menggambarkan, dan menjelaskan secara mendalam, kontekstual, serta sistematis mengenai fakta fenomena kegagalan implementasi prosedur keselamatan penerbangan di lapangan, bukan untuk menguji hubungan statistik ataupun melakukan pembuktian matematis antar-variabel. Melalui pendekatan deskriptif ini, peneliti dapat memaparkan secara rinci kondisi riil sistem pengereman armada Cessna 208B dengan

registrasi PK-PPI sebelum terjadinya insiden *runway excursion* di Bandar Udara Ilaga berdasarkan data dan laporan faktual yang tersedia.

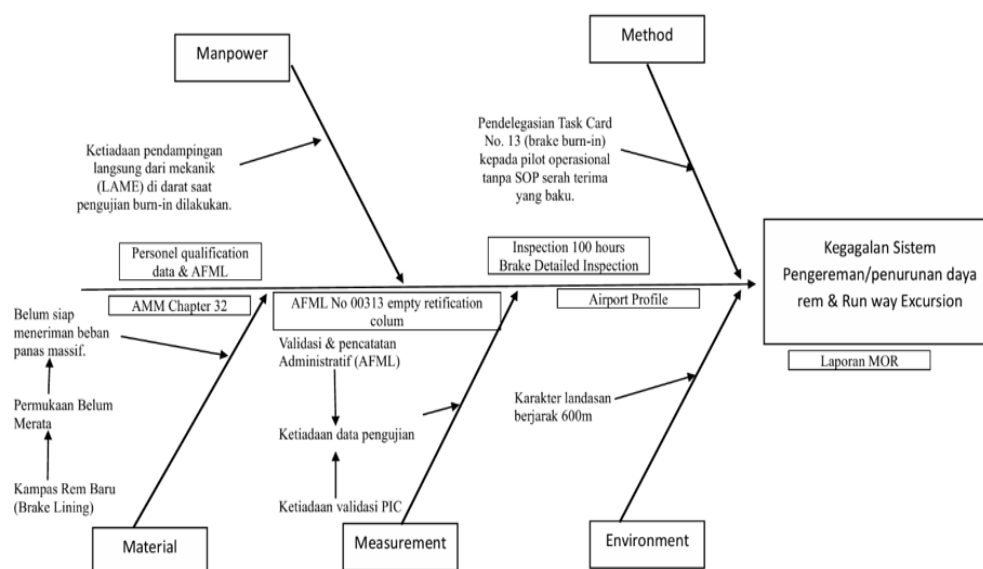
Sementara itu, melalui desain studi dokumen, peneliti menempatkan dokumen-dokumen resmi, manual perawatan dari pabrikan, regulasi keselamatan nasional, serta data pelaporan insiden sebagai objek primer. Seluruh dokumen tersebut kemudian dibedah isi teksnya (content analysis) secara objektif guna menemukan rantai penyebab mendasar (root cause) yang mengakibatkan penurunan efektivitas sistem pengereman tanpa harus melakukan pengujian fisik laboratorium yang rumit.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Faktor Penyebab (Metode *Fishbone*)

Berdasarkan pemaparan data faktual studi dokumen dan kronologi kejadian yang telah diuraikan pada Bab III, tahap pertama dalam *Root Cause Analysis* (RCA) ini adalah memetakan seluruh potensi penyebab kegagalan sistem pengereman. Pemetaan ini dilakukan menggunakan instrumen *Fishbone Diagram* untuk mengkategorikan setiap temuan dokumen ke dalam lima dimensi operasional, yaitu *Material*, *Method*, *Manpower*, *Measurement*, dan *Environment*.

Diagram Ishikawa (Fishbone): Analisis Akar Masalah Kegagalan Sistem Pengereman Cessna-208B di Bandar Udara Ilaga



Gambar IV.1 Diagram Akar Masalah

1. **Material:** Penggunaan komponen *brake lining* (metallic brake lining) baru tidak bisa langsung bekerja dengan maksimal *out-of-the-box*. Karena tidak diiringi dengan prosedur pematangan (*burn-in*) yang tepat, permukaan *brake lining* masih dalam kondisi tidak merata dan belum membentuk lapisan gesek (*transfer layer*). Kondisi ini menyebabkan material belum siap menerima beban panas masif saat pengereman, sehingga memicu fenomena *Brake Glazing* (pengerasan permukaan) yang membuat kampas rem (*brake lining*) kehilangan daya cengkram terhadap piringan rotor (*brake fade*).
2. **Manpower:** Secara kualifikasi administratif baik teknisi (LAME) maupun penerbang (PIC & SIC) dipastikan sah dan memenuhi syarat *Type Rating* (C208B) serta lisensi regulasi (CASR), terdapat kegagalan krusial pada saat eksekusi di lapangan. Kegagalan *manpower* dalam hal ini adalah ketiadaan pendampingan langsung dari mekanik (LAME) di darat saat pengujian *burn-in* dilakukan oleh penerbang.
3. **Method:** Ditemukan celah prosedural yang sangat signifikan pada pelaksanaan Task Card Brake Detailed Inspection (khususnya pada Item No. 13: New Brake Burn-In) yang merupakan bagian dari program *100 Hours Routine Maintenance*. Pendelegasian pengujian *burn-in* komponen rem kepada pilot operasional dilakukan tanpa adanya SOP serah-terima tanggung jawab yang baku. Hal ini secara langsung merupakan pelanggaran terhadap instruksi wajib dari Surat Edaran Dirjen Hubud No. SE 01 Tahun 2023 yang menggariskan bahwa pendelegasian tersebut harus dilakukan sebagai satu kesatuan prosedur sebelum status pesawat direlease (RTS).
4. **Measurement:** Aspek validasi administratif kelaikudaraan tidak berjalan sesuai aturan. Hal ini dibuktikan dengan tidak adanya log pencatatan dan validasi tanda tangan ganda dari penerbang (PIC) pada kolom *Rectification* AFML No. 00313 terkait pelaksanaan uji *brake burn-in*. Akibatnya, LAME menulis pesawat (RTS) tanpa kepastian bukti otentik bahwa prosedur rem tersebut telah tuntas dilakukan di lapangan.
5. **Environment:** Meskipun cuaca terpantau cerah (tanpa gangguan jarak pandang), karakteristik landasan perintis yang sangat pendek (hanya berjarak 600 meter) dengan elevasi ekstrem (7.560 kaki MSL) secara alami mempersempit toleransi jarak henti (*stopping distance*). Ketika sistem pengereman tidak bekerja 100% akibat masalah pada *Material* dan *Method* di atas, ruang deselerasi yang sangat terbatas di lingkungan ini memastikan pesawat tidak memiliki cukup sisa landasan untuk berhenti, yang berujung pada terjadinya *runway excursion*.

Kelima faktor yang telah dipetakan pada *Fishbone Diagram* di atas pada dasarnya masih bersifat hipotesis yang bersumber dari temuan dokumen. Oleh karena itu, untuk mensahkan dan memvalidasi temuan tersebut secara keilmuan kelaikudaraan, dilakukan pengumpulan data kualitatif melalui kuesioner terbuka yang diajukan kepada tiga orang praktisi *Licensed Aircraft Maintenance Engineer* (LAME). Pertanyaan kuesioner dirancang untuk menguji kelima dimensi 5M secara komprehensif. Hasil wawancara ahli tersebut disintesis ke dalam Matriks Triangulasi berikut:

Tabel IV.1 Matriks Triangulasi

No	Faktor	Jawaban Responden I	Jawaban Responden 2	Jawaban Responden 3	Sintesis (Benang Merah)
I	MATERIAL (Karakteristik Komponen Baru)	"sangat urgensi, sesuai prosedur yg di sebutkan di Aircraft Maintenance Manual (AMM) pesawat dan dari Part Manual (Cleveland Wheels & Brakes) Part No. 066-15300"	"Pelaksanaan brake burn-in setelah penggantian brake lining merupakan prosedur yang sangat penting karena brake lining yang baru belum memiliki permukaan kontak yang sempurna dengan brake disc sehingga efektivitas pengereman belum mencapai nilai optimal."	"Sangat krusial karena permukaan kontak antara lining baru dan disc belum sempurna. Tanpa burn-in, daya pengereman tidak akan maksimal."	Konsensus: Ketiga pakar sepakat secara mutlak bahwa prosedur <i>burn-in</i> sangat krusial/urgensi untuk dilakukan pasca penggantian komponen guna memastikan tercapainya daya pengereman yang maksimal.
2	MATERIAL (Sifat Fisik Material Sintered)	"Ya, karena material metalic brake lining tersebut"	"Ya, karena karakteristik material sintered metalic brake lining merupakan salah satu alasan utama mengapa pengereman belum optimal sebelum dilakukan burn-in."	"Brake lining berbahan sintered metalic memang membutuhkan burn-in, sifat material ini membuat performa awal pengereman kurang optimal sebelum penyesuaian permukaan."	Konsensus: Pakar memvalidasi bahwa sifat fisik (karakteristik) material logam padat (sintered metalic) adalah alasan utama yang menuntut dilakukannya prosedur penyesuaian permukaan (burn-in).
3	MATERIAL (Interkoneksi Sistem Rem)	"ya,"	"Ya, pelaksanaan brake burn-in juga berpengaruh terhadap efektivitas parking brake jika dilakukan sesuai prosedur akan menghasilkan kontak yang lebih sempurna antara brake lining dan disc"	"Ya, Efektivitas parking brake, brake burn-in yang sesuai prosedur menghasilkan kontak lebih baik sehingga fungsi parkir andal."	Konsensus: Prosedur <i>burn-in</i> berdampak langsung dalam membentuk kontak kampas rem dan cakram yang lebih baik, sehingga menjamin keandalan <i>parking brake</i> .
4	MEASUREMENT (Syarat Kelaikudaraan RTS)	"melakukan presedure brake burn in dan dan mencatatnya di dalam lobbook"	"Setelah pemasangan brake lining, engineer wajib melakukan pengecekan, functional test, brake burn-in sesuai AMM/CMM, memastikan tidak	"melakukan pemeriksaan, Melakukan prosedur brake burn-in lalu mencatat seluruh pekerjaan di logbook."	Konsensus: Syarat teknis dan administratif wajib sebelum pesawat dirilis (RTS) adalah melakukan prosedur uji <i>burn-in</i> dan mencatat riwayat pekerjaan tersebut di dalam <i>logbook</i> .

			ada kebocoran kemudian mencatat seluruh pekerjaan di logbook"		
5	MEASUREMENT (Validasi AFML/Logbook)	"sangat diperlukan sign atau validasi dari teknisi yang mengerjakan karena untuk evidence track record jika terjadi hal-hal yang tidak diinginkan"	"sangat vital, validasi dan tanda tangan di logbook menjadi bukti bahwa pekerjaan, termasuk brake burn-in, telah dilakukan sesuai prosedur. Dokumen tersebut merupakan persyaratan administrasi, menjamin traceability, dan menjadi dasar penerbitan Release to Service (RTS)."	"Sangat penting, dokumen ini menjadi bukti pekerjaan dilakukan sesuai prosedur, dan syarat sahnya RTS."	Konsensus: Validasi dan tanda tangan (sign) teknisi di dalam <i>logbook</i> memiliki sifat sangat vital/penting sebagai bukti administratif, rekam jejak (evidence track record), dan penentu keabsahan status <i>RTS</i> .
6	MANPOWER (Pendelegasian Tugas Khusus)	"harus ada pendampingan dan validasi dari teknisi karena untuk mengetahui apakah brake system sudah bekerja dengan maksimal atau belum"	"Pelaksanaan brake burn-in oleh pilot dapat dibenarkan tetapi dilakukan pendampingan oleh engineer. Jika dilakukan tanpa pendampingan atau verifikasi yang dipersyaratkan, maka pekerjaan dianggap belum sepenuhnya selesai sehingga status Release to Service (RTS) tidak dapat dinyatakan sah sampai seluruh prosedur dan dokumentasi telah dipenuhi."	"Boleh dilakukan pilot, tetapi harus ada pendampingan engineer. Tanpa verifikasi dari teknisi belum bisa dibilang selesai."	Konsensus: Pendelegasian tugas ke pihak operasional (pilot) dapat dibenarkan asalkan wajib didampingi teknisi (engineer). Tanpa verifikasi langsung, pekerjaan dianggap belum selesai dan status <i>RTS</i> menjadi tidak sah.
7	METHOD (Dampak Deviasi Prosedur)	"akan terjadi pengereman yg tidak maksimal, bisa mengakibatkan rem blom dan out of runway/overrunway"	"Pengereman berkurang, terjadi keausan tidak merata, overheating dan meningkatkan risiko kegagalan pengereman saat operasi."	"Pengereman akan tidak maksimal, dan berpotensi menimbulkan kegagalan sistem rem saat digunakan."	Konsensus: Pengabaian instruksi manual akan berdampak langsung pada kegagalan performa rem, memicu pemanasan berlebih (overheating), hingga ancaman paling fatal yaitu <i>runway overrun</i> .
8	ENVIRONMENT (Analisis Kegagalan Sistemik)	"ada beberapa kemungkinan yang mengakibatkan hal tersebut seperti - kesalahan pengoperasian dari	"brake burn-in dilakukan tidak sesuai prosedur"	"Jika mengalami overrun setelah penggantian brake lining, penyebab paling mungkin adalah burn-in	Konsensus: Meskipun terdapat berbagai kemungkinan penyebab (seperti malfungsi teknis komponen atau kelalaian penerbang),

pilot/human error - kegagalan komponen pada brake system/brake caliper leak / brake hose line leak -tidak melakukan prosedur brake burn in"	yang tidak dilakukan sesuai prosedur."	ketiadaan/pengabaian prosedur <i>brake burn-in</i> diyakini sebagai faktor teknis paling dominan (katalis utama) terjadinya <i>runway overrun</i> .
--	--	--

Berdasarkan hasil konsensus pada Matriks Triangulasi (Tabel IV.1), dilakukan proses pengerucutan untuk memisahkan antara kondisi bawaan operasi dengan faktor pemicu kegagalan. Para ahli sepakat bahwa karakteristik Material (sintered metallic) dan faktor Environment (landasan pacu Ilaga) pada dasarnya adalah kondisi statis operasional yang wajar dan bukan merupakan pelanggaran. Risiko dari kedua faktor tersebut sepenuhnya dapat dicegah apabila prosedur penanganan pesawat dieksekusi dengan benar. faktor penyebab kegagalan operasional secara konklusif mengerucut pada tiga dimensi aktif, yaitu:

1. Kesalahan Manpower (ketiadaan pendampingan fisik mekanik).
2. Kesalahan Method (pendelegasian tanpa SOP).
3. Kegagalan Measurement (hilangnya validasi AFML).

Ketiga faktor operasional yang telah mengerucut ini memiliki hubungan sebab-akibat yang saling mengikat, yang selanjutnya akan dibedah menggunakan metode *5 Whys Analysis* untuk menemukan satu akar masalah terdalam.

B. Analisis Akar Masalah (5 Whys Analysis)

Berdasarkan pemetaan *Fishbone Diagram*, faktor penyebab kegagalan operasional secara konklusif berpusat pada tiga dimensi aktif operasional. Untuk menemukan akar permasalahan (*root cause*) secara akurat dan spesifik, analisis dilakukan dengan memecah *5 Whys Analysis* menjadi tiga rantai penelusuran terpisah yang diurutkan berdasarkan kronologi pelaksanaan kerja kelaikudaraan, yaitu *Method* (Metode instruksi awal), *Manpower* (Eksekusi personel di lapangan), dan *Measurement* (Validasi administratif akhir).

1. Analisis 5 Whys: Dimensi METHOD (Metode Pendelegasian Kerja)
Fokus Masalah: Awal mula penyimpangan prosedur pematangan kampas rem (*New Brake Burn-In*).
 - a. Why 1: Mengapa prosedur pengondisian *brake lining* baru tidak terlaksana secara utuh? *Jawaban:* Karena eksekusi pengujian rem tersebut didelegasikan oleh departemen teknik (*maintenance*) kepada pihak penerbang (pilot).
 - b. Why 2: Mengapa metode pendelegasian tersebut memicu masalah operasional? *Jawaban:* Karena pendelegasian tugas lintas departemen ini dilakukan tanpa dilandasi oleh *Standard Operating Procedure* (SOP) serah-terima teknis yang baku.
 - c. Why 3: Mengapa ketiadaan SOP pendelegasian ini berakibat fatal? *Jawaban:* Karena tidak ada pedoman pasti yang mengikat pilot terkait bagaimana mengeksekusi parameter pengereman secara spesifik.
 - d. Why 4: Mengapa kondisi tanpa panduan turunan ini dibiarkan terjadi? *Jawaban:* Karena belum ada sinkronisasi metode kerja yang jelas dan tertulis antara departemen teknik dan operasi di pangkalan perintis.
 - e. Why 5 (Akar Masalah Method): Ketidadaan SOP baku terkait pendelegasian tugas kelaikudaraan yang menyebabkan prosedur pematangan rem kehilangan kejelasan instruksi teknis sebelum dieksekusi di lapangan.
2. Analisis 5 Whys: Dimensi MANPOWER (Pelaksanaan dan Pendampingan)
Fokus Masalah: Kegagalan personel di lapangan dalam mengeksekusi metode pendelegasian di atas.
 - a. Why 1: Mengapa daya cengkeram material rem pada akhirnya gagal dievaluasi dengan benar di lapangan? *Jawaban:* Karena pelaksanaan pengujian *burn-in* di area pergerakan (*apron/taxiway*) luput dari verifikasi dan pengawasan teknis.
 - b. Why 2: Mengapa pengujian tersebut luput dari verifikasi teknis? *Jawaban:* Karena teknisi (LAME) tidak hadir secara fisik untuk memberikan pendampingan kepada pilot.
 - c. Why 3: Mengapa LAME tidak memberikan pendampingan fisik di lapangan? *Jawaban:* Karena LAME memiliki asumsi yang keliru bahwa dengan didelegasikannya instruksi kerja, maka tanggung jawab pengujian sepenuhnya lepas kepada penerbang.
 - d. Why 4: Mengapa asumsi lepas tangan tersebut salah secara teknis? *Jawaban:* Karena proses pematangan material rem (*sintered metallic*) mutlak membutuhkan penilaian langsung dari mekanik untuk memastikan komponen tidak mengalami pemanasan berlebih (*overheating*) yang merusak struktur rem.
 - e. Why 5 (Akar Masalah Manpower): Kelalaian personel teknis (LAME) dalam mematuhi instruksi wajib pendampingan fisik di lapangan sebagaimana diamanatkan secara tegas dalam Surat Edaran Dirjen Hubud No. SE 01 Tahun 2023.
3. Analisis 5 Whys: Dimensi MEASUREMENT (Pencatatan dan Validasi Akhir)
Fokus Masalah: Kegagalan sistem pertahanan dokumen dalam memblokir kelaian fisik (Method & Manpower) di atas.
 - a. Why 1: Mengapa pesawat tetap lolos dirilis untuk terbang (RTS)? *Jawaban:* Karena teknisi (LAME) secara prematur menerbitkan persetujuan kelaikudaraan (*Return to Service / RTS*) pada dokumen pesawat.
 - b. Why 2: Mengapa status RTS tersebut bisa diterbitkan oleh teknisi? *Jawaban:* Karena LAME mengabaikan persyaratan validasi administratif pada *Aircraft Flight and Maintenance Log* (AFML).

- c. Why 3: Apa bentuk pengabaian validasi administratif pada AFML tersebut? *Jawaban:* LAME membiarkan kolom *Rectification* AFML kosong dari *log* pencatatan spesifik uji *burn-in* dan tetap merilisnya tanpa adanya bukti tanda tangan validasi dari Pilot (PIC).
- d. Why 4: Mengapa pencatatan dan validasi PIC tersebut sangat penting bagi kelaikudaraan? *Jawaban:* Karena tanda tangan PIC di AFML adalah satu-satunya instrumen pengukuran ukur (parameter *measurement*) administratif yang sah untuk membuktikan bahwa pekerjaan yang didelegasikan benar-benar telah tuntas dilaksanakan.
- e. Why 5 (Akar Masalah *Measurement*): Pengabaian parameter pengukuran administratif pada dokumen AFML yang meruntuhkan pertahanan *Quality Gate* kelaikudaraan terakhir pesawat.

C. Sintesis Akar Masalah (*Root Cause Synthesis*)

Dari penelusuran tiga dimensi secara kronologis di atas, akar masalah kegagalan sistem pengereman membentuk sebuah cerita rantai kausalitas yang utuh. Kegagalan bermula di fase hulu, yakni ketiadaan SOP Pendelegasian (*Method*) yang tidak jelas. Hal ini memicu kegagalan eksekusi di fase tengah, di mana terjadi ketiadaan pendampingan fisik oleh mekanik (*Manpower*) terhadap penerbang. Seluruh kelalaian fisik di lapangan ini pada akhirnya lolos di fase hilir akibat pengabaian validasi pencatatan AFML (*Measurement*).

Runtuhnya *Quality Gate* pada validasi dokumen AFML inilah yang menjadi muara celah paling fatal. Kegagalan administratif tersebut membiarkan pesawat dirilis dalam kondisi cacat hukum (melanggar SE 01 Tahun 2023) dan membiarkan material kampas rem diterbangkan dalam kondisi rentan, sehingga memicu fenomena *Brake Glazing* yang berujung pada hilangnya daya cengkeram di landasan pacu Ilaga.

D. Pembahasan

Analisis menunjukkan bahwa meskipun kualifikasi personel (Penerbang dan Teknisi) sudah memenuhi standar regulasi (CASR 135 dan Part 65), terjadi kegagalan dalam sinkronisasi prosedur antara departemen *maintenance* dan operasional. Sesuai dengan ketentuan pada ACL D71, teknisi memiliki wewenang untuk melakukan perbaikan, namun batasan "kapabilitas perawatan" di stasiun luar (seperti Ilaga) harusnya menjadi pengingat bahwa prosedur kompleks yang menuntut pengujian fisik seperti *New Brake Burn-In* memerlukan validasi yang lebih ketat sebelum pesawat dinyatakan dalam kondisi *Airworthy*.

Pelanggaran terhadap mekanisme pencatatan administrative yakni ketiadaan log pencatatan spesifik pelaksanaan *burn-in* dan ketiadaan validasi tanda tangan penerbang (PIC) pada kolom *Rectification* AFML telah meruntuhkan *Quality Gate* terakhir yang seharusnya dapat mencegah pesawat terbang dengan komponen *brake lining* yang belum laik operasi. Dengan demikian, *Brake Glazing* yang terjadi di landasan pada dasarnya merupakan buah dari kegagalan prosedur administratif (penerbitan status Return to Service yang cacat hukum) yang meloloskan kelalaian fisik di lapangan.

Secara regulasi, SE 01 Tahun 2023 bersifat imperatif (wajib) bagi pemegang AOC 135. Kejadian *runway excursion* di tahun 2025 menjadi bukti nyata bahwa keberadaan surat edaran tertulis tidak akan berdampak jika tidak dikawal dengan mekanisme pengawasan internal yang ketat. Pengabaian terhadap instruksi krusial ini setelah dua tahun masa pemberlakuannya mencerminkan masih rendahnya budaya keselamatan (*safety culture*) dalam organisasi maskapai. Kegagalan sinkronisasi antara departemen teknis dan operasional dalam mengeksekusi mandat SE tersebut, terutama mengenai kewajiban pendampingan LAME saat proses *burn-in* dan kewajiban validasi ganda pada *logbook* telah menghilangkan *barrier* keselamatan utama. Jika celah kepatuhan terhadap SE 01 Tahun 2023 ini terus dibiarkan, maka regulasi hanya akan menjadi dokumen formalitas tanpa dampak mitigatif nyata di wilayah operasional pegunungan yang berisiko tinggi.

E. Rekomendasi

Berdasarkan analisis akar masalah (*Root Cause Analysis*) yang telah mengerucut pada kegagalan dimensi *Measurement*, *Method*, dan *Manpower*, ditemukan bahwa akar permasalahan bukan terletak pada ketiadaan aturan, melainkan pada kegagalan implementasi dan minimnya kepatuhan terhadap aturan yang sudah ada. Oleh karena itu, rekomendasi mitigasi yang diusulkan berfokus pada penegakan regulasi dan pengawasan internal:

1. Penegakan Kedisiplinan Pengisian AFML (*Measurement*): Karena struktur kolom *Rectification* dan pedoman validasi pada AFML sudah tersedia sesuai standar, kegagalan validasi ganda ini murni merupakan masalah kedisiplinan personel. Rekomendasi yang diusulkan adalah peningkatan pengawasan ketat oleh Departemen *Quality Assurance* (QA) melalui inspeksi silang dokumen (AFML Review) yang lebih intensif, khususnya untuk penerbangan dari stasiun luar (*outstation*). Setiap rilis pesawat (RTS) tanpa catatan penyelesaian *Task Card* yang utuh dan tanpa kelengkapan tanda tangan PIC harus dikenakan sanksi kedisiplinan yang tegas.
2. Optimalisasi Pemahaman Terhadap AMM dan SE 01/2023 (*Method*): Prosedur pelaksanaan *brake burn-in* pada dasarnya telah diatur secara komprehensif di dalam *Aircraft Maintenance Manual* (AMM) dan penjabarannya tertuang jelas pada *Task Card Brake Detailed Inspection*. Operator tidak perlu merancang prosedur baru, melainkan wajib menyusun *Standard Operating Procedure* (SOP) pendelegasian tugas yang baku, serta melakukan *Refresher Training* lintas departemen (Teknik dan Operasi) terkait kewajiban mutlak penyelesaian instruksi Item No. 13 (*New Brake Burn-In*).
3. Pengawasan Ketat Terhadap Kewajiban Pendampingan LAME (*Manpower*): Pendelegasian tugas pengujian kepada pilot operasional diizinkan selama teknisi (LAME) melakukan pendampingan dan verifikasi langsung di apron, sesuai amanat Surat Edaran Dirjen Hubud No. SE 01 Tahun 2023. *Base Maintenance Manager* atau *Chief Inspector* harus memastikan bahwa tidak ada pendelegasian pengujian *burn-in* yang dilakukan secara "lepas tangan". LAME wajib hadir secara fisik untuk memvalidasi efektivitas sistem pengereman sebelum berani menandatangani *Maintenance Release*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kualitatif melalui triangulasi data dokumen, kuesioner ahli (expert judgement), dan penelusuran menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA) terhadap insiden kegagalan sistem pengereman (runway excursion) pesawat Cessna 208B di Bandar Udara Ilaga, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor Penyebab Berdasarkan Pemetaan Fishbone Diagram: Kegagalan operasional sistem pengereman dipicu secara konklusif oleh tiga deviasi prosedural yang saling mengikat, yaitu:
 - a. *Method*: Adanya penyimpangan prosedur operasional pada pendelegasian instruksi kerja *Task Card Brake Detailed Inspection* (Item No. 13: New Brake Burn-In) yang diserahkan secara sepihak tanpa SOP serah-terima teknis yang baku.
 - b. *Manpower*: Ketiadaan pengawasan, verifikasi fisik, dan pendampingan langsung oleh mekanik (LAME) di darat saat pengujian rem diinstruksikan kepada penerbang.
 - c. *Measurement*: Pengabaian parameter validasi administratif pada *Aircraft Flight and Maintenance Log* (AFML), di mana teknisi menerbitkan persetujuan terbang tanpa menuntut bukti pencatatan dan tanda tangan penerbang (PIC).
2. Akar Permasalahan Sistemik (Root Cause) Berdasarkan 5 Whys Analysis:
 Penelusuran mendalam secara vertikal terhadap ketiga penyebab langsung di atas membuktikan bahwa kegagalan berakar pada kelemahan sistemik organisasi, dengan rincian:
 - a. Pada Dimensi *Method*: Lemahnya *Safety Management System* (SMS) operator dalam menyediakan *Standard Operating Procedure* (SOP) baku yang mengatur batas wewenang dan serah-terima teknis pendelegasian tugas kelaikudaraan lintas departemen (Teknik dan Operasi).
 - b. Pada Dimensi *Manpower*: Terjadinya degradasi *Safety Culture* pada personel teknis, di mana pendelegasian tugas secara keliru disalahartikan sebagai pelepasan tanggung jawab, sehingga mengabaikan mandat pendampingan fisik yang diwajibkan oleh regulator.
 - c. Pada Dimensi *Measurement*: Lemahnya fungsi kontrol dan inspeksi silang (*document review*) di stasiun perintis, yang membiarkan teknisi secara prematur merilis pesawat sebelum parameter pengukuran administratif dipenuhi secara sah.

Ketiga akar masalah sistemik di atas pada akhirnya bermuara pada satu puncak kegagalan (*Ultimate Root Cause*), yaitu runtuhnya sistem pertahanan *Quality Gate* (Pengawasan Kelaikudaraan Akhir) pada tahap validasi dokumen. Kelalaian fisik di fase eksekusi berhasil menembus pertahanan administratif terakhir akibat pengabaian instruksi imperatif Surat Edaran Dirjen Hubud No. SE 01 Tahun 2023. Celah fatal ini meloloskan pesawat terbang dalam kondisi tidak laik terbang (*un-airworthy*) dengan kampas rem baru yang belum teruji, yang memicu fenomena *Brake Glazing* (pengerasan kampas rem) dan hilangnya daya cengkram di landasan pacu.

SARAN

Berdasarkan kesimpulan di atas, ditemukan bahwa akar permasalahan bersumber pada pengabaian eksekusi prosedur teknis di lapangan yang berhasil lolos akibat jebolnya sistem pengawasan kelaikudaraan di atas kertas. Oleh karena itu, diajukan beberapa saran tindakan perbaikan (*corrective actions*) sebagai berikut:

1. Kepada Operator Penerbangan (Manajemen & Teknik):
 - a. Departemen *Quality Assurance* (QA) tidak boleh hanya bergantung pada audit dokumen tertulis. QA wajib mengintensifkan inspeksi lapangan (field surveillance atau spot check) secara berkala, khususnya di stasiun perintis (outstation), untuk memastikan bahwa prosedur kritis seperti *New Brake Burn-In* benar-benar dieksekusi secara fisik, bukan diabaikan.
 - b. Operator perlu menerapkan tindakan korektif melalui mekanisme *Safety Management System* (SMS) yang tegas bagi personel yang merilis pesawat secara cacat hukum, khususnya terhadap pelanggaran ketiadaan validasi ganda (LAME dan PIC) pada AFML.
2. Kepada Personel (Teknisi dan Penerbang):
 - a. Mengembalikan budaya keselamatan (*Safety Culture*) dan integritas profesi dengan menjunjung tinggi kepatuhan mutlak terhadap *Aircraft Maintenance Manual* (AMM) dan instruksi spesifik pada *Task Card Brake Detailed Inspection*.
 - b. Sesuai amanat SE 01 Tahun 2023, teknisi (LAME) dilarang lepas tangan; wajib hadir secara fisik untuk memantau pengujian *burn-in* di lapangan. Sebaliknya, penerbang (PIC) wajib melaksanakan pengujian dengan benar, membubuhkan tanda tangan validasi di AFML sebagai bukti tuntasnya prosedur, serta berhak menolak menerbangkan pesawat apabila verifikasi teknis belum diselesaikan bersama teknisi.
3. Kepada Regulator (Direktorat Jenderal Perhubungan Udara): Melakukan pengawasan yang lebih komprehensif melalui audit kepatuhan (compliance audit) langsung ke pangkalan operasi bagi maskapai pemegang AOC I35. Hal ini guna memastikan bahwa instruksi keselamatan dalam Surat Edaran No. SE 01 Tahun 2023 benar-benar dieksekusi melalui tindakan nyata di *apron*, bukan sekadar formalitas administrasi serah-terima di atas kertas.

DAFTAR PUSTAKA

1. Baida, A. Z., & Herwanto, D. (2025). Analisis Faktor-Faktor Penyebab Ketidaksesuaian Stok Label dengan Metode 5 Why dan Fishbone Diagram dalam Industri Makanan dan Minuman. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 15(1), 110–115. <https://doi.org/10.36040/industri.v15i1.12924>

2. Cessna Aircraft Company. (2019). *Model 208 Series Maintenance Manual: Chapter 32-40-00 Wheels and Brakes*.
3. Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2007). *Type Certificate Data Sheet (TCDS) No. A029: Cessna 208 Series*.
4. Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2023). *Surat Edaran Nomor SE 01 Tahun 2023 tentang Implementasi Prosedur New Brake Burn-In pada Pesawat Terbang Cessna C208 Series*.
5. Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2025). *Mandatory Occurrence Report (MOR): Kejadian Runway Excursion Pesawat Cessna 208B PK-PPI di Bandar Udara Ilaga*.
6. 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>
7. Dzulfikar, M. A., Saputri, N. A., Nova, M. A., Siregar, J., Putra, L. G. J., Diya, N. R., & Mandhalena, M. (2025). Identifikasi Penyebab Terjadinya Landing Gear Indication Tidak Berfungsi Normal pada Pesawat Boeing 737-900 ER. *Jurnal Integrasi*, 17(1), 53–58. <https://doi.org/10.30871/ji.v17i1.9510>
8. Federal Aviation Administration. (2018). *Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume I*. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.
9. Gangidi, P. (2019). A Systematic Approach to Root Cause Analysis Using 3 × 5 Why's Technique. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(1), 295–310. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-10-2017-0114>
10. Ishikawa, K. (1982). *Guide to Quality Control* (2nd revise). Asian Productivity Organization.
11. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2022). *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 33 Tahun 2022 tentang Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 119 (Civil Aviation Safety Regulation Part 119) tentang Sertifikasi Pengoperasian Pesawat Udara untuk Kegiatan Angkutan Udara*.
12. Kuswardana, A., Mayangsari, N. E., & Amrullah, H. N. (2017). Analisis Penyebab Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode RCA (Fishbone Diagram Method And 5–Why Analysis) di PT. PAL Indonesia. *Conference on Safety Engineering and Its Application*, 1(1), 141–146.
13. Latino, R. J., Latino, K. C., & Latino, M. A. (2011). *Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom-Line Results* (4th ed.). CRC Press.
14. Parker Hannifin Corporation. (2017). *Aircraft Wheel & Brake Component Maintenance Manual*.
15. Prayogo, R. A., Nugraha, W. C., & Nurhawani, A. A. T. (2026). Analisis Kegagalan Surge Control Valve pada APU Model GTCP331-350 Pesawat Airbus A330 Series di PT. GMF AeroAsia Tbk. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 14(1), 501–511. <https://doi.org/10.23960/jitet.v14i1.8459>
16. Republik Indonesia. (2006). *Civil Aviation Safety Regulations (CASR) Part 43: Maintenance, Preventive Maintenance, Rebuilding, and Alteration*.
17. Republik Indonesia. (2015). *Civil Aviation Safety Regulations (CASR) Part 135: Certification and Operating Requirements: For Commuter and Charter Air Carriers*.
18. Republik Indonesia. (2017). *Civil Aviation Safety Regulations (CASR) Part 91: General Operating and Flight Rules*.
19. Rohani, Q. A., & Suhartini. (2021). Analisis Kecelakaan Kerja dengan Menggunakan Metode Risk Priority Number, Diagram Pareto, Fishbone, Five Whys Analysis. *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, 1(1), 136–143.
20. SKYbrary Aviation Safety. (2025). *Runway Excursion: Prevention and Mitigation Strategies for Commuter Aircraft Operations*. Skybrary Aviation Knowledge Portfolio.
21. Wood, R. H., & Sweginnis, R. W. (2006). *Aircraft Accident Investigation* (2nd ed.). Endeavor Books.