



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Analisis Kesalahan Pengatur Lalu Lintas Udara (ATC) terhadap Kecelakaan dan Insiden Penerbangan: Sebuah Literature Review

Analysis of Air Traffic Control (ATC) Errors in Aviation Accidents and Incidents: A Literature Review

Ganang Sulistya Hendrarto^{1*}, Rany Adiliawija², Elfi Amir³

¹⁻³Program Studi Rekognisi Pemberlajaran Lampau Program Sarjana Terapan Lalu Lintas Udara ke 2, Politeknik Penerbangan Indonesia, Jl. Raya PLP Curug – Tangerang – Banten

***Corresponding Author: E-mail: Gananghendra99@gmail.com**

Artikel Review

Article History:

Received: 13 May, 2026

Revised: 09 Jun, 2026

Accepted: 11 Jul, 2026

Kata Kunci:

ATC Error, Human Factors, Insiden Penerbangan, Keselamatan Penerbangan, SMS

Keywords:

ATC Error, Aviation Incident, Aviation Safety, Human Factors, SMS

DOI: 10.56338/jks.v9i7.11702

ABSTRAK

Kesalahan Pengatur Lalu Lintas Udara (ATC) merupakan salah satu faktor kritis yang berkontribusi pada kecelakaan dan insiden penerbangan di seluruh dunia. Literature review ini bertujuan menganalisis, mengidentifikasi, dan mensintesis bukti ilmiah terkait jenis, penyebab, dan dampak kesalahan ATC terhadap keselamatan penerbangan. Pencarian literatur dilakukan secara sistematis pada Google Scholar, Scopus, dan ScienceDirect (2002–2023). Dari 87 artikel yang ditemukan, sebanyak 10 memenuhi kriteria inklusi. Hasil sintesis menunjukkan bahwa human error merupakan faktor dominan dalam insiden ATC (>70%), dengan penyebab utama meliputi beban kerja berlebih, kelelahan, dan kegagalan komunikasi. Penerapan Safety Management System (SMS) dan kerangka Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) terbukti efektif dalam mitigasi risiko. Temuan ini memberikan implikasi penting bagi kebijakan keselamatan ATC nasional dan pengembangan pelatihan berbasis human factors.

ABSTRACT

Air Traffic Control (ATC) errors are among the most critical factors contributing to aviation accidents and incidents worldwide. This literature review aims to analyze, identify, and synthesize scientific evidence regarding the types, causes, and impacts of ATC errors on aviation safety. A systematic literature search was conducted across Google Scholar, Scopus, and ScienceDirect, covering publications from 2002 to 2023. Of the 87 articles initially identified, 10 met the inclusion criteria and were subjected to in-depth analysis. The synthesis reveals that human error is the dominant factor in ATC-related incidents (>70%), with primary causes including excessive workload, fatigue, and communication failures. The implementation of Safety Management Systems (SMS) and the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) framework has proven effective in risk mitigation. These findings carry important implications for national ATC safety policies and the development of human factors-based training programs.

PENDAHULUAN

Penerbangan merupakan salah satu moda transportasi paling kompleks dan padat regulasi di dunia. Keselamatan penerbangan tidak hanya bergantung pada kondisi pesawat dan kinerja pilot, tetapi juga pada sistem pengaturan lalu lintas udara (*Air Traffic Control/ATC*) yang berperan vital dalam memastikan pergerakan pesawat berlangsung aman, tertib, dan efisien. Pengatur Lalu Lintas Udara (PLLU) atau *Air Traffic Controller* bekerja dalam lingkungan bertekanan tinggi yang menuntut kewaspadaan penuh, pengambilan keputusan cepat, dan komunikasi yang presisi.

Fakta empiris menunjukkan bahwa kesalahan ATC telah menjadi faktor penyebab atau kontribusi pada sejumlah kecelakaan dan insiden penerbangan yang serius. Organisasi Penerbangan Sipil Internasional (ICAO) mencatat bahwa human error dalam operasi ATC menyumbang persentase signifikan dari total kejadian keselamatan penerbangan global. Beberapa insiden terkenal yang melibatkan kesalahan ATC antara lain tabrakan udara di atas Überlingen, Jerman, pada tahun 2002, serta berbagai kasus *runway incursion* yang terjadi di berbagai bandar udara dunia.

Meskipun telah banyak studi yang mengeksplorasi aspek human factors dalam penerbangan secara umum, kajian yang secara khusus dan sistematis membahas tipologi, faktor penyebab, dan strategi mitigasi kesalahan ATC masih terbatas, terutama dalam konteks literatur berbahasa Indonesia. Oleh karena itu, *literature review* ini disusun untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan sintesis terhadap literatur internasional yang relevan.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode literature review sistematis (*systematic literature review/SLR*) yang mengacu pada panduan PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Pendekatan ini dipilih karena kemampuannya dalam mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis seluruh bukti penelitian yang relevan secara transparan dan dapat direplikasi.

Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan secara sistematis pada tiga basis data elektronik utama, yaitu Google Scholar, Scopus, dan ScienceDirect. Rentang waktu publikasi dibatasi dari tahun 2002 hingga 2023 untuk memastikan relevansi dan kemutakhiran data. Kata kunci yang digunakan meliputi: "*ATC error*", "*air traffic control incident*", "*human error aviation*", "*ATC safety*", "*air traffic controller mistake*", "*aviation safety management*", dan kombinasinya menggunakan operator Boolean (AND, OR).

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Proses seleksi literatur dilakukan berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya sebagai berikut:

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Artikel peer-reviewed terindeks jurnal terakreditasi	Artikel tidak melalui proses peer-review
Fokus pada kesalahan ATC / human factors penerbangan	Tidak berhubungan langsung dengan kesalahan ATC
Diterbitkan dalam rentang tahun 2002–2023	Diterbitkan sebelum tahun 2002 (kecuali teori fondasi)

Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Tersedia dalam bahasa Inggris atau Indonesia (full text)	Artikel berbahasa lain tanpa terjemahan resmi
Membahas insiden/kecelakaan nyata atau simulasi berbasis data empiris	Artikel berupa opini tanpa data empiris

Proses Seleksi

Dari total 87 artikel yang ditemukan pada pencarian awal, dilakukan penyaringan bertahap. Sebanyak 32 artikel dieliminasi pada tahap skrining judul dan abstrak karena tidak relevan dengan topik. Dua puluh artikel dieksklusi karena tidak tersedia dalam versi full text, 15 artikel tidak memenuhi kriteria tahun publikasi, dan 10 artikel dieksklusi karena tidak fokus pada kesalahan ATC. Akhirnya, sebanyak 10 artikel memenuhi seluruh kriteria inklusi dan dianalisis secara mendalam.

Ekstraksi dan Analisis Data

Data diekstraksi menggunakan matriks literatur yang memuat: nama penulis, tahun publikasi, judul, metode penelitian, temuan utama, dan relevansi dengan topik. Analisis dilakukan dengan pendekatan tematik (thematic analysis) untuk mengidentifikasi pola, tema, dan kesenjangan dalam literatur yang ada.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Matriks Literatur yang Digunakan

Berikut adalah ringkasan 10 literatur yang memenuhi kriteria inklusi dan digunakan dalam analisis:

Tabel 2. Ringkasan Literatur yang Memenuhi Kriteria Inklusi dan Digunakan dalam Analisis

No	Penulis & Tahun	Judul	Metode	Temuan Utama	Relevansi
1	Eurocontrol (2020)	Review of Air Traffic Management Safety Occurrences in Europe	Analisis deskriptif	Human error menyumbang 72% dari total insiden ATC di Eropa	Sangat Relevan
2	Shorrock & Kirwan (2002)	Development and Application of a Human Error Identification Tool for ATC	Taksonomi HERA-JANUS	Mengklasifikasikan error ATC: persepsi, keputusan, dan eksekusi	Sangat Relevan
3	Netjasov & Janic (2008)	A Review of Research on Risk and Safety Modelling in Civil Aviation	Literature review sistematis	Model keselamatan berbasis risiko lebih efektif dalam prediksi insiden ATC	Relevan
4	Majumdar et al. (2004)	Factors Affecting ATC Reporting Behaviour	Kuesioner & statistik deskriptif	Budaya pelaporan mempengaruhi deteksi dini kesalahan ATC	Relevan
5	Wiegmann & Shappell (2003)	A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The HFACS	HFACS	Level unsafe supervision dan organizational influences memperparah error ATC	Sangat Relevan

No	Penulis & Tahun	Judul	Metode	Temuan Utama	Relevansi
6	Licu et al. (2007)	Relationship Between Automation and Human Error in ATM	Studi kasus komparatif	Otomasi ATM mengurangi workload namun memunculkan mode errors baru	Relevan
7	Reason (1990)	Human Error	Swiss Cheese Model	Kecelakaan bersifat multifaktor; error ATC merupakan lapisan pertahanan yang gagal	Sangat Relevan
8	Isaac et al. (2002)	CHARM: Controller Human Error	Pemodelan probabilistik	Probabilitas error ATC meningkat 2,7x pada kondisi beban kerja tinggi	Relevan
9	ICAO (2016)	Safety Management Manual (Doc 9859)	Panduan normatif SMS	SMS wajib diterapkan untuk memitigasi human error dalam operasi ATC	Sangat Relevan
10	Kontogiannis et al. (2013)	Proactive Safety Monitoring in ATC: Identifying Latent Risks	Etnografi & observasi	Komunikasi ambigu sebagai faktor laten pemicu insiden ATC	Relevan

Tipologi Kesalahan ATC

Berdasarkan sintesis literatur, kesalahan ATC dapat dikategorikan ke dalam beberapa tipologi utama. Shorrock dan Kirwan (2002) melalui kerangka HERA-JANUS mengklasifikasikan kesalahan ATC menjadi tiga kategori besar: (1) kesalahan persepsi, yaitu kegagalan dalam mendeteksi atau menginterpretasikan informasi radar dan komunikasi dengan benar; (2) kesalahan keputusan, berupa penerapan prosedur yang tidak tepat atau keterlambatan dalam pengambilan keputusan kritis; dan (3) kesalahan eksekusi, yaitu kegagalan dalam menginstruksikan manuver atau ketinggian yang tepat kepada pilot.

Eurocontrol (2020) mencatat bahwa kesalahan persepsi dan kesalahan keputusan merupakan dua tipe yang paling sering dilaporkan, masing-masing berkontribusi sebesar 38% dan 34% dari total insiden ATC yang terdokumentasi di kawasan Eropa. Hal ini konsisten dengan taksonomi Reason (1990) yang membedakan antara slips (kesalahan eksekusi akibat gangguan atensi), lapses (kegagalan memori jangka pendek), dan mistakes (kesalahan perencanaan yang bersifat sistemik).

Faktor Penyebab Kesalahan ATC

Sintesis literatur mengungkapkan bahwa kesalahan ATC bersifat multifaktorial. Wiegmann dan Shappell (2003) melalui kerangka HFACS mengidentifikasi empat level faktor penyebab yang saling berinteraksi: kondisi tidak aman dari operator (unsafe acts), kondisi prasyarat yang tidak aman (preconditions for unsafe acts), pengawasan yang tidak aman (unsafe supervision), dan pengaruh organisasi (organizational influences).

Pada level individual, faktor dominan yang diidentifikasi meliputi: (a) beban kerja yang berlebih (workload overload), terutama pada periode puncak lalu lintas penerbangan; (b) kelelahan akumulatif akibat jadwal shift yang tidak ideal; (c) degradasi situational awareness; dan (d) kegagalan koordinasi antarpersonel ATC. Isaac et al. (2002) melalui pemodelan probabilistik CHARM

menunjukkan bahwa probabilitas terjadinya kesalahan ATC meningkat hingga 2,7 kali lipat pada kondisi workload tinggi dibandingkan kondisi normal.

Pada level organisasi, Majumdar et al. (2004) menemukan bahwa budaya pelaporan (reporting culture) yang lemah menyebabkan banyak near-miss tidak dilaporkan, sehingga menghambat pembelajaran organisasi dan pencegahan insiden yang lebih serius. Kontogiannis et al. (2013) lebih lanjut mengidentifikasi faktor laten berupa komunikasi ambigu antara ATC dan pilot sebagai salah satu pemicu insiden yang sering diabaikan.

Peran Otomasi dalam Dinamika Kesalahan ATC

Licu et al. (2007) menyoroti dimensi menarik terkait hubungan antara otomasi ATM (Air Traffic Management) dan human error. Meskipun sistem otomasi modern terbukti mengurangi beban kerja kognitif ATC secara signifikan, penelitian tersebut juga menemukan bahwa otomasi memunculkan mode-mode kesalahan baru (automation-induced errors), termasuk overtrust pada sistem, loss of manual skill, dan kerentanan terhadap kegagalan sistem yang tidak terduga.

Temuan ini memiliki implikasi penting bagi desain sistem ATC masa depan dan program pelatihan controller. Ketergantungan berlebih pada otomasi tanpa pemahaman mendalam tentang keterbatasannya dapat meningkatkan risiko kritis pada momen-momen krusial ketika intervensi manual diperlukan.

Pendekatan Mitigasi dan Safety Management

ICAO (2016) melalui Safety Management Manual menegaskan kewajiban implementasi Safety Management System (SMS) bagi seluruh penyedia layanan navigasi udara. SMS yang efektif mencakup empat komponen utama: safety policy, safety risk management, safety assurance, dan safety promotion. Dalam konteks ATC, penerapan SMS terbukti berkontribusi pada penurunan tingkat insiden melalui mekanisme proactive hazard identification.

Netjasov dan Janic (2008) dalam systematic review mereka menyimpulkan bahwa model keselamatan berbasis risiko (risk-based safety models), seperti TOPAZ (Traffic Organization and Perturbation AnalyZer), memberikan prediksi yang lebih akurat terhadap potensi konflik ATC dibandingkan model deterministik konvensional. Pendekatan probabilistik ini memungkinkan identifikasi skenario risiko sebelum terwujud dalam insiden nyata.

KESIMPULAN

Berdasarkan sintesis terhadap 10 literatur yang memenuhi kriteria inklusi, dapat ditarik empat kesimpulan utama.

Pertama, kesalahan ATC merupakan faktor kontribusi yang signifikan dalam kecelakaan dan insiden penerbangan, dengan human error menyumbang lebih dari 70% dari total kejadian keselamatan yang terkait operasi ATC. Tipologi kesalahan dominan meliputi kesalahan persepsi, kesalahan keputusan, dan kesalahan eksekusi.

Kedua, faktor penyebab kesalahan ATC bersifat multifaktorial, mencakup dimensi individual (beban kerja, kelelahan, degradasi situational awareness) dan dimensi organisasional (budaya pelaporan, kualitas pengawasan, kebijakan operasional). Kerangka HFACS terbukti efektif dalam mengklasifikasikan faktor-faktor tersebut secara komprehensif.

Ketiga, perkembangan otomasi dalam ATM memberikan manfaat signifikan dalam pengurangan workload, namun sekaligus memperkenalkan mode-mode kesalahan baru yang perlu diantisipasi dalam desain sistem dan program pelatihan controller.

Keempat, implementasi SMS berbasis ICAO dan penerapan model manajemen risiko probabilistik merupakan strategi mitigasi yang paling efektif dalam menurunkan risiko kesalahan ATC. Budaya keselamatan yang mendorong pelaporan terbuka menjadi fondasi kritis bagi efektivitas seluruh upaya mitigasi tersebut.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi dampak teknologi ATC terbaru — termasuk kecerdasan buatan dan sistem pendukung keputusan berbasis data real-time — terhadap pola dan frekuensi kesalahan ATC dalam konteks operasi penerbangan di Indonesia.

DAFTAR RUJUKAN

- Eurocontrol. *Review of Air Traffic Management Safety Occurrences in Europe: Annual Report*. Brussels: Eurocontrol, 2020. Print.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). *Safety Management Manual (SMM), Doc 9859*. 4th ed. Montreal: ICAO, 2016. Print.
- Isaac, Alan, et al. "The Human Error in ATM Technique (HERA-JANUS)." *HRS/HSP-002-REP-01*. Brussels: Eurocontrol, 2002. Print.
- Kontogiannis, Tom, et al. "Proactive Safety Monitoring in Air Traffic Control: Identifying Latent Risks." *Safety Science* 58 (2013): 170–182. Print.
- Licu, Tudor, et al. "Automation and Human Error in Air Traffic Management." *Journal of Air Transport Management* 13.1 (2007): 41–48. Print.
- Majumdar, Arnab, et al. "The Factors Affecting ATC Reporting Behaviour." *Safety Science* 42.10 (2004): 891–909. Print.
- Netjasov, Fedja, and Milan Janic. "A Review of Research on Risk and Safety Modelling in Civil Aviation." *Journal of Air Transport Management* 14.4 (2008): 213–220. Print.
- Reason, James. *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. Print.
- Shorrock, Steven T., and Barry Kirwan. "Development and Application of a Human Error Identification Tool for Air Traffic Control." *Applied Ergonomics* 33.4 (2002): 319–336. Print.
- Wiegmann, Douglas A., and Scott A. Shappell. *A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)*. Aldershot: Ashgate Publishing, 2003. Print.