

## **Sistematic Review Skill Komunikasi Pemandu Lalu Lintas Udara**

**Resta Arga Santosa, Muh. Akbar, Tuti Bahfiarti**

Universitas Hasanuddin Makassar Jl. Perintis Kemerdekaan Km.10, Makassar

E-mail correspondence : santosara24e@ms.unhas.ac.id

---

### **Abstrak**

Komunikasi yang efektif sangat penting dalam pemanduan lalu lintas udara untuk memastikan keselamatan penerbangan. Tinjauan literatur sistematis ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menilai keefektifan berbagai metode pelatihan yang dapat meningkatkan kemampuan komunikasi di para pengatur lalu lintas udara (ATC). Dengan menggunakan metodologi Tinjauan Literatur Sistematis (SLR), penelitian ini mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menginterpretasikan semua studi yang relevan pada bidang spesifik ini. Kajian ini mengeksplorasi peran penting komunikasi yang efektif dalam pemanduan lalu lintas udara, memeriksa berbagai macam metode pelatihan yang bertujuan untuk meningkatkan keterampilan komunikasi untuk ATC, dan mengidentifikasi tantangan komunikasi utama yang mereka hadapi. Pencarian menyeluruh dilakukan di berbagai basis data, termasuk PubMed, Scopus, Web of Science, dan Google Scholar. Selain itu, penelitian ini juga membahas metode pelatihan yang paling efektif, integrasi teknologi ke dalam pelatihan, serta potensi manfaat dan keterbatasan dari pendekatan-pendekatan tersebut.

**Kata Kunci:** *air traffic control, aviation safety, communication skills, error management, training*

### **Abstract**

*Effective communication is essential in air traffic control to ensure aviation safety. This systematic literature review aims to identify and assess the effectiveness of various training methods that enhance air traffic controllers (ATCs) communication skills. Utilizing a Systematic Literature Review (SLR) methodology, this research identifies, evaluates, and interprets all relevant studies in this area. The review explores the vital role of effective communication within air traffic control, examines different training methods to improve communication skills for ATCs, and identifies primary communication challenges they face. A thorough search was conducted across multiple databases, including PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar. The discussion focuses on the most effective training methods, the integration of technology into training, and the potential benefits and limitations of these approaches.*

**Keywords:** *air traffic control, aviation safety, communication skills, error management, training*

---

## PENDAHULUAN

Kebutuhan akan transportasi udara semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan mobilitas orang dan barang (Emami Javanmard et al., 2024). Selain itu, sektor ini memainkan peran penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi daerah (Kaya & Aydın, 2024; Nguyen, 2024; Raihan et al., 2024). Seorang Pemandu Lalu Lintas Udara atau Air Traffic Controller (ATC) dituntut untuk mengatur lalu lintas udara yang semakin padat (Ulandari & Dyahjatmayanti, 2022). Salah satu tugas utama dari seorang ATC adalah mengawasi dan mengarahkan semua yang berhubungan dengan penerbangan, seperti memberikan izin lepas landas dan mendarat, memberikan informasi kondisi cuaca, dan menentukan rute penerbangan yang aman (Ardiansyah, 2015). Singkatnya, ATC bertanggung jawab untuk mengawasi lalu lintas udara dan memastikan keselamatan dan kelancaran penerbangan (Edwards et al., 2023).

Pemandu lalu lintas udara (ATC) adalah komponen penting dalam industri penerbangan, yang bertanggung jawab untuk mengatur arus lalu lintas udara untuk memastikan keselamatan, efisiensi, dan ketertiban di udara (Avinash, 2024). ATC memainkan peran penting dalam mencegah terjadinya kecelakaan, mengurangi penundaan, dan mengoptimalkan pemanfaatan ruang udara. Komunikasi yang efektif adalah landasan dalam operasional ATC, karena memungkinkan pertukaran informasi yang jelas dan ringkas antara ATC dan pilot (Edwards et al., 2023). Karakteristik pemanduan lalu lintas udara yang kompleks dan terus berkembang menimbulkan hambatan yang cukup besar dalam komunikasi. Beban kerja yang berlebihan, keterbatasan waktu, gangguan pendengaran, dan gangguan dapat menghalangi komunikasi yang efektif,

yang mengakibatkan kesalahpahaman dan kesalahan (Hamzah et al., 2023). Perbedaan kultur dan kesulitan bahasa dapat menghambat hubungan antara pengatur lalu lintas udara dan pilot dari berbagai negara (Hendiyanto et al., 2023). Miskomunikasi, meskipun kecil, dapat menimbulkan konsekuensi berbahaya, mulai dari insiden near-miss hingga kecelakaan besar. Oleh karena itu, sangat penting untuk membekali ATC dengan keterampilan komunikasi yang diperlukan untuk mencegah kejadian tersebut.

Komunikasi yang efektif adalah kemampuan yang sangat penting bagi Pengatur Lalu Lintas Udara (ATC), karena hal ini secara langsung berdampak pada keselamatan dan efisiensi operasi lalu lintas penerbangan. Kompleksivitas dan risiko tinggi dari pemanduan lalu lintas udara menuntut pertukaran informasi yang tepat dan tepat waktu antara ATC dan pilot. Miskomunikasi, bahkan yang kecil sekalipun, dapat menyebabkan konsekuensi serius, termasuk insiden near-miss, kecelakaan, dan keterlambatan (Shorrocks & Kirwan, 2002).

Sektor penerbangan secara historis telah memahami pentingnya kemampuan komunikasi dalam menjaga keselamatan penerbangan (Dos Santos et al., 2014). Dewan Keselamatan Transportasi Nasional (NTSB) menunjukkan bahwa masalah kegagalan komunikasi merupakan masalah yang banyak terjadi dalam kecelakaan pesawat terbang, yang menyumbang lebih dari 70% dari kasus-kasus tersebut (Kharoufah et al., 2018). Hal ini menekankan pentingnya program pelatihan komunikasi yang kuat bagi ATC untuk mengurangi risiko dan meningkatkan keselamatan operasional (Wang et al., 2024).

Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai studi telah mengeksplorasi berbagai metode pelatihan untuk meningkatkan kemampuan komunikasi

ATC (Ammentorp et al., 2021; Martin et al., 2014). Metode-metode ini bervariasi mulai dari pendekatan konvensional, seperti pelatihan berbasis ruang kelas dan simulasi skenario, dan telah digunakan secara luas untuk mengajarkan prinsip dan keterampilan komunikasi. Untuk mengatasi tantangan ini, berbagai metode pelatihan telah dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan komunikasi ATC (Martin et al., 2014; Nielsen & Shepherd, 2022).

Perkembangan teknologi telah menghasilkan metode pengajaran yang baru dan kreatif. ATC dapat lebih siap menghadapi situasi yang sebenarnya dengan menggunakan pengalaman belajar yang imersif dan interaktif melalui simulasi virtual reality (VR) dan augmented reality (AR), simulasi permainan, dan platform pembelajaran daring (Strojny & Duzmańska-Misiarczyk, 2023). Updegrave & Jafer (2017) memberikan pandangan yang bermanfaat mengenai potensi untuk mengoptimalkan pelatihan ATC di Akademi FAA. Dengan menerapkan perubahan yang direkomendasikan, FAA dapat meningkatkan kualitas dan efisiensi program pelatihannya, yang pada akhirnya menghasilkan pengatur lalu lintas udara yang lebih siap dan lebih terampil.

Sebuah tinjauan literatur sistematis oleh (Bongo & Seva, 2022) telah menyoroti pentingnya keterampilan komunikasi yang efektif dalam pemanduan lalu lintas udara. Metode pelatihan tradisional, seperti pengajaran berbasis ruang kelas dan skenario simulasi, tetap menjadi alat yang berharga untuk mengembangkan keterampilan komunikasi. Namun, metode yang disempurnakan dengan teknologi, termasuk realitas virtual dan permainan serius, menawarkan pengalaman belajar yang inovatif dan mendalam yang dapat secara signifikan meningkatkan efektivitas pelatihan.

Tujuan dari tinjauan literatur sistematis ini adalah untuk menentukan dan menilai seberapa baik teknik pelatihan yang berbeda dapat meningkatkan kemampuan komunikasi ATC. Tinjauan ini bertujuan untuk memberikan penjelasan tentang strategi pelatihan terbaik dan kemungkinan keuntungan dan kerugiannya dengan menggabungkan hasil penelitian terkait. Tujuan utamanya adalah untuk memandu pembuatan dan pelaksanaan program pelatihan komunikasi menyeluruh yang dapat berkontribusi pada perlindungan langit dan menjamin keamanan transportasi udara.

## **METODE**

Tinjauan literatur sistematis adalah pendekatan metode dan komprehensif untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis studi penelitian tentang topik tertentu. Penelitian ini menggunakan desain Tinjauan Literatur Sistematis (*Systematic Literature Review, SLR*) yang banyak dibahas dalam literatur akademis. Menurut Kitchenham (2007) SLR adalah pendekatan metode untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menginterpretasikan semua penelitian yang tersedia yang relevan dengan pertanyaan penelitian tertentu, area topik, atau fenomena yang relevan. Studi Literatur ini mempelajari peran penting dari komunikasi yang efektif dalam kontrol lalu lintas udara (ATC). Studi ini mengkaji berbagai metode pelatihan yang dirancang untuk meningkatkan kemampuan komunikasi di antara para pemandu lalu lintas penerbangan. Dengan meninjau penelitian yang ada, studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi strategi pelatihan yang efektif, menilai dampaknya terhadap kemampuan komunikasi, dan mengeksplorasi manfaat potensial dari mengintegrasikan teknologi yang sedang berkembang ke dalam

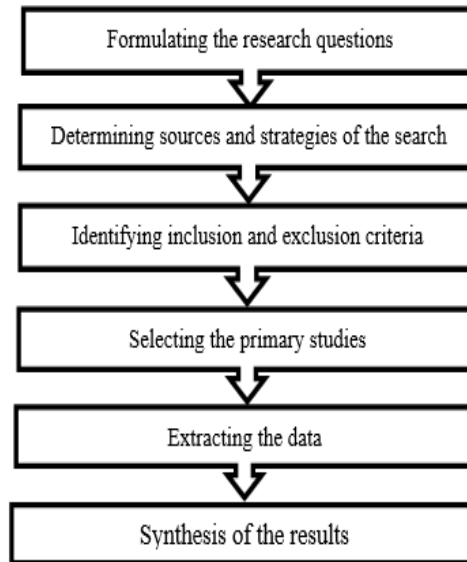
pelatihan ATC. Tujuan utamanya adalah untuk berkontribusi pada pengembangan program pelatihan yang kuat dan berbasis bukti yang dapat memastikan keselamatan di penerbangan dengan meningkatkan komunikasi dan mencegah terjadinya kecelakaan.

Proses ini melibatkan beberapa langkah untuk memastikan bahwa tinjauan ini menyeluruh dan independen. Tinjauan literatur sistematis akan dilakukan dengan menggunakan basis data yang relevan seperti; PubMed, Scopus, dan Google Scholar. Istilah pencarian yang digunakan termasuk “kontrol lalu lintas udara,” “keterampilan komunikasi,” “pelatihan,” “simulasi,” dan “realitas virtual.”

Basis data PubMed terutama berfokus pada ilmu pengetahuan alam dan informasi biomedis. Database ini mencakup artikel penelitian, ulasan, dan studi klinis. Scopus adalah basis data abstrak dan kutipan besar yang mencakup berbagai disiplin ilmu, termasuk sains, teknologi, kedokteran, ilmu sosial, serta seni dan humaniora. Web of Science adalah basis data komprehensif yang mengindeks literatur ilmiah terkemuka di dunia di berbagai disiplin ilmu, termasuk sains, ilmu sosial, seni, dan humaniora. Google Scholar adalah mesin pencari yang dapat diakses secara bebas yang mengindeks artikel ilmiah di berbagai disiplin ilmu. Ini mencakup makalah, tesis, buku, dan makalah konferensi yang telah ditelaah sejawat.

Artikel-artikel yang ditinjau dalam bahasa Inggris yang diterbitkan dalam bahasa Inggris disertakan dalam tinjauan. Studi penelitian orisinal yang secara khusus berfokus pada pelatihan keterampilan komunikasi ATC diprioritaskan. Artikel ulasan, studi kasus, opini, dan studi yang tidak berhubungan langsung dengan pelatihan keterampilan komunikasi ATC tidak diikutsertakan. Informasi kunci diekstraksi dari studi yang

diikutsertakan, meliputi desain studi, karakteristik peserta, rincian intervensi (metode pelatihan), ukuran hasil, hasil, dan keterbatasan.



**Gambar 1.** *Systematic Literature Review Stages* (Kitchenham, 2007)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Tabel 1.** *Enhancing Air Traffic Control Communication Systems*

No	Study Title	Training Method	Key Findings
1	Enhancing Air Traffic Control Communication Systems with Integrated Automatic Speech Recognition	Automatic Speech Recognition (ASR)	Penurunan kesalahan dalam berkomunikasi secara signifikan dan peningkatan akurasi dalam mentranskripsikan instruksi yang disampaikan.
2	Artificial Intelligence in a Communication System for Air Traffic Controllers' Emergency Training	Intelligent Communication System (ICS)	Peningkatan efisiensi dan akurasi komunikasi dalam keadaan darurat, dengan fitur pengenalan suara dan pemberian respons secara real-time.
3	A Virtual Simulation-Pilot Agent for Training of Air Traffic Controllers	Virtual Simulation-Pilot Engine	Meningkatkan keterampilan berkomunikasi secara realistis melalui skenario pelatihan yang mendekati kenyataan, dengan menggunakan alat bantu AI seperti ASR, penguraian entitas, dan submodul text-to-speech.
4	Trainer Interventions as Instructional Strategies in Air Traffic Control Training	Trainer Interventions	Strategi pembelajaran yang efektif dan umpan balik dari para instruktur secara signifikan meningkatkan kompetensi berkomunikasi di antara para peserta pelatihan.
5	Emerging Technologies in Aviation Competency-Based Training and Assessment	Virtual Reality (VR) and Serious Games	Peningkatan keterlibatan dan retensi keterampilan dalam berkomunikasi, dengan pengalaman pembelajaran yang mendalam dan interaktif.



*Enhancing Air Traffic Control Communication Systems with Integrated Automatic Speech Recognition* (Wang et al., 2024). Tinjauan teknologi pengenalan suara otomatis (ASR) dalam sistem komunikasi ATC menyoroti kemampuannya untuk mengurangi beban kerja pemandu lalu lintas udara (ATC) dan meningkatkan keakuratan berkomunikasi. Studi yang ditinjau menunjukkan bahwa ASR dapat secara efektif mentranskrip dan menginterpretasikan perintah yang diucapkan, sehingga meningkatkan kinerja sistem ATC secara keseluruhan. Namun, implementasi teknologi ASR juga memiliki tantangan, seperti kebutuhan akan akurasi yang tinggi di tengah lingkungan yang cenderung bising dan integrasi dengan sistem ATC yang telah tersedia..

*Artificial Intelligence in a Communication System for Air Traffic Controllers' Emergency Training* (Mnaoui et al., 2022). Sebuah penelitian tentang penggunaan kecerdasan buatan (AI) dalam skenario pelatihan darurat untuk ATC menunjukkan keefektifan sistem komunikasi cerdas (ICS) dalam meningkatkan keterampilan berkomunikasi selama situasi dengan tekanan tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AI dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi dan akurasi komunikasi ATC, terutama dalam situasi keadaan darurat. Integrasi algoritma mesin pembelajaran memungkinkan pengenalan suara dan pembuatan respons secara real-time, yang dapat membantu ATC mengelola keadaan gawat darurat dengan lebih efektif.

*A Virtual Simulation-Pilot Agent for Training of Air Traffic Controllers* (Zuluaga-Gomez et al., 2023). Penerapan simulasi virtual-pilot engine untuk pelatihan ATC, dengan mengintegrasikan perangkat AI yang modern, telah menunjukkan hasil yang lebih baik dalam menciptakan skenario pelatihan yang lebih realistis. Komponen dalam sistem ini, termasuk pengenalan suara otomatis, penguraian entitas, dan submodul text-to-speech, memungkinkan para ATC untuk berlatih dan menyempurnakan kemampuan komunikasi mereka dalam keadaan yang dapat dikendalikan. Studi yang ditinjau mengindikasikan bahwa pelatihan berbasis simulasi tersebut dapat meningkatkan kemampuan praktis ATC, yang mengarah pada peningkatan kompetensi berkomunikasi.

*Trainer Interventions as Instructional Strategies in Air Traffic Control Training* (Koskela & Palukka, 2011). Penelitian mengenai intervensi pelatih dalam situasi pelatihan ATC mengungkapkan pentingnya strategi pembelajaran yang efektif dalam mengembangkan kemampuan berkomunikasi. Penerapan analisis komunikasi dan etnometodologi memberikan pandangan tentang bagaimana instruktur dapat melakukan intervensi secara efektif dan memberikan umpan balik kepada para peserta pelatihan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intervensi dan umpan balik yang ditargetkan dapat secara signifikan meningkatkan kompetensi berkomunikasi para ATC, menyoroti nilai dari instruktur yang berpengalaman dalam menjalankan proses pelatihan.

*Emerging Technologies in Aviation Competency-Based Training and Assessment* (Ziakkas et al., 2025). Pengintegrasian teknologi yang sedang berkembang, seperti virtual reality dan simulasi permainan, dalam pelatihan penerbangan telah terbukti dapat meningkatkan kemampuan berkomunikasi di antara petugas pemandu lalu lintas penerbangan. Teknologi ini menawarkan pengalaman belajar yang imersif dan interaktif yang dapat lebih mempersiapkan ATC untuk menghadapi kondisi di lapangan. Penelitian yang ditinjau menyoroti manfaat potensial dari penggabungan teknologi ini ke dalam program pelatihan ATC, termasuk peningkatan interaksi, peningkatan retensi keterampilan berkomunikasi, dan peningkatan efektivitas pelatihan secara keseluruhan.

Hasil sintesis menunjukkan bahwa metode pelatihan tradisional dan metode pelatihan yang ditingkatkan dengan teknologi sama-sama efektif dalam meningkatkan kemampuan berkomunikasi di antara para pemandu lalu lintas udara (ATC). Sementara metode konvensional, seperti intervensi instruktur, menyediakan lingkungan pelatihan yang terstruktur dan umpan balik yang berguna, metode yang disempurnakan dengan teknologi, termasuk *automatic speech recognition (ASR)*, *intelligent coaching systems (ICS)*, simulasi virtual, realitas virtual (VR), dan permainan serius, menawarkan pengalaman pelatihan yang imersif dan realistis yang sangat mirip dengan situasi di lapangan.

Setiap metode pelatihan memiliki kelebihan dan kekurangan yang berbeda-beda. Metode konvensional cenderung hemat dari segi biaya dan menyediakan lingkungan belajar yang dapat dikendalikan, namun mungkin kurang realistis untuk transfer keterampilan yang efektif. Sebaliknya, metode yang disempurnakan dengan teknologi menawarkan pengalaman pelatihan yang lebih personal dan mendalam, namun bisa jadi memakan biaya yang besar dan membutuhkan infrastruktur teknologi yang memadai.

### ***Traditional Training Methods***

*Traditional training methods*, termasuk pembelajaran di kelas dan simulasi yang realistis, tetap penting dalam pelatihan berkomunikasi bagi ATC. Metode-metode ini menciptakan konteks pembelajaran yang terstruktur di mana ATC dapat mengembangkan dan mempraktikkan keterampilan berkomunikasi. Namun, kekurangannya adalah kurangnya unsur realisme dan kemungkinan peserta mengalami kecemasan terhadap lingkungan sosial.

### ***Technology-Enhanced Training Methods***

Penerapan metode pelatihan yang didukung teknologi seperti ASR, AI, realitas virtual, dan simulasi permainan memberikan kemajuan yang positif dalam pelatihan komunikasi ATC. Teknologi-teknologi ini memberikan pengalaman pembelajaran yang imersif dan interaktif yang sangat mirip dengan kondisi di lapangan. ASR dan AI, khususnya, telah menunjukkan potensi untuk mengurangi beban kerja dan meningkatkan akurasi komunikasi, khususnya dalam situasi yang memiliki tekanan kerja yang tinggi. Realitas virtual dan simulasi membuat peserta pelatihan terlibat dalam skenario yang realistis, sehingga membantu mereka meningkatkan kemampuan berkomunikasi secara praktis.

### ***Benefits and Limitations***

Setiap metode pelatihan memiliki kelebihan dan kekurangan. Pendekatan konvensional lebih efisien dalam hal pembiayaan dan menyediakan lingkungan belajar yang dapat dikontrol, namun mungkin kurang memberikan realisme yang dibutuhkan untuk memberikan pembelajaran yang efektif. Metode yang disempurnakan menggunakan teknologi memberikan pengalaman pelatihan yang mendalam dan sesuai kebutuhan, akan tetapi metode ini membutuhkan biaya yang cukup tinggi dan membutuhkan infrastruktur teknologi yang memadai.

#### *Future Directions*

Penelitian di kemudian hari perlu mengkaji efek jangka panjang dari berbagai metode pelatihan, kombinasi pendekatan baik konvensional maupun yang disempurnakan dengan teknologi, serta pengaruh faktor budaya terhadap keberhasilan berkomunikasi. Dengan menginvestasikan pelatihan komunikasi berkualitas tinggi, maka dapat membantu mendukung keselamatan penerbangan dan memastikan keselamatan transportasi penerbangan.

## **PENUTUP**

### **Kesimpulan**

Tinjauan sistematis ini menunjukkan pentingnya pelatihan komunikasi yang efektif bagi para pemandu lalu lintas udara (ATC). Studi yang ditinjau menunjukkan bahwa berbagai metode pelatihan, termasuk pendekatan konvensional berbasis ruang kelas hingga metode yang disempurnakan dengan teknologi modern, dapat secara signifikan meningkatkan kemampuan berkomunikasi ATC. Metode pelatihan konvensional, seperti pembelajaran di ruang kelas dan skenario simulasi, memberikan dasar yang terstruktur untuk mengembangkan keterampilan berkomunikasi yang mendasar. Namun, metode ini mungkin kurang memberikan realisme yang diperlukan untuk meningkatkan kemampuan yang optimal dalam skenario kondisi lapangan.

Teknologi yang sedang berkembang, termasuk pengenalan suara otomatis (ASR), kecerdasan buatan (AI), realitas virtual (VR), dan permainan serius, menawarkan pengalaman pelatihan yang inovatif dan imersif yang sangat mirip dengan situasi di lapangan. Teknologi-teknologi ini memiliki potensi untuk meningkatkan kemampuan dalam berkomunikasi dengan memberikan umpan balik yang dipersonalisasi, mengurangi beban kerja, dan meningkatkan akurasi, terutama dalam kondisi yang menimbulkan banyak tekanan. Sementara metode konvensional menawarkan suasana belajar dengan biaya yang terjangkau dan dapat dikendalikan, metode yang disempurnakan dengan teknologi, terlepas dari potensinya, membutuhkan biaya yang tinggi dan membutuhkan infrastruktur teknis yang memadai. Pendekatan yang seimbang yang menggabungkan kekuatan metode konvensional dan metode yang disempurnakan dengan teknologi mungkin merupakan cara yang paling efektif untuk mengoptimalkan pelatihan komunikasi ATC.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ammentorp, J., Bigi, S., Silverman, J., Sator, M., Gillen, P., Ryan, W., Rosenbaum, M., Chiswell, M., Doherty, E., & Martin, P. (2021). Upscaling communication skills training – lessons learned from international initiatives. *Patient Education and Counseling*, 104(2), 352–359. <https://doi.org/10.1016/j.pec.2020.08.028>
- Ardiansyah, I. (2015). Analisis Efektifitas Komunikasi Antara Controller Dan Penerbang Di Unit Approach Jakarta Sektor Terminal West Jakarta Air Traffic Services Centre. *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 7(3). <https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/oe/article/view/539>
- Avinash, V. (2024). *Air Traffic Control (ATC) / Education | Aviation Oasis*. [https://www.aviationoasis.com/education/1778781\\_air-traffic-control-atc](https://www.aviationoasis.com/education/1778781_air-traffic-control-atc)
- Bongo, M., & Seva, R. (2022). Effect of Fatigue in Air Traffic Controllers' Workload, Situation Awareness, and Control Strategy. *The International Journal of Aerospace Psychology*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/24721840.2021.1896951>
- Dos Santos, I. C., Vieira, A. M., & Morais, P. R. D. (2014). Poor Communication Skills Means High Risk For Aviation Safety. *Gestão & Regionalidade*, 30(88). <https://doi.org/10.13037/gr.vol30n88.2541>
- Edwards, T., Seely, R., Malakis, S., Evans, M., & Evans, A. (2023). Chapter 17—An introduction to air traffic control and the application of human factors. In J. R. Keebler, E. H. Lazzara, K. A. Wilson, & E. L. Blickensderfer (Eds.), *Human Factors in Aviation and Aerospace (Third Edition)* (pp. 449–475). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420139-2.00021-6>
- Emami Javanmard, M., Tang, Y., & Martínez-Hernández, J. A. (2024). Forecasting air transportation demand and its impacts on energy consumption and emission. *Applied Energy*, 364, 123031. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123031>
- Hamzah, H., Krish, P., & Hamat, A. (2023). Aviation communication challenges and language training development: Perspectives from pilots and air traffic controllers. *Training, Language and Culture*, 7(1), 86–100. <https://doi.org/10.22363/2521-442X-2023-7-1-86-100>
- Hendiyanto, Zinaida, R. S., & Bastian. (2023). Optimizing Air Traffic Controller Communication for Enhanced Flight Safety: A Case Study of AirNav Indonesia Palembang Branch. *Proceeding Symposium of Literature, Culture, and Communication (SYLECTION)*, 03(01). <https://doi.org/10.12928/sylection.v3i1.14517>
- Kaya, G., & Aydın, U. (2024). The nexus between air transport and economic growth geographically: An evidence based on heterogeneous panel data models. *Journal of Air Transport Management*, 115, 102528. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102528>
- Kharoufah, H., Murray, J., Baxter, G., & Wild, G. (2018). A review of human factors causations in commercial air transport accidents and incidents: From to 2000–2016. *Progress in Aerospace Sciences*, 99, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.03.002>
- Kitchenham, B. (2007). *Kitchenham, B.: Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in software engineering*. EBSE Technical Report EBSE-2007-01.
- Koskela, I., & Palukka, H. (2011). Trainer interventions as instructional strategies in air traffic control training. *Journal of Workplace Learning*, 23(5), 293–314. <https://doi.org/10.1108/13665621111141902>
- Martin, B. O., Kolomitro, K., & Lam, T. C. M. (2014). Training Methods: A Review and Analysis. *Human Resource Development Review*, 13(1), 11–35. <https://doi.org/10.1177/1534484313497947>
- Mnaoui, Y., Najoua, A., & Ouajji, H. (2022). Artificial intelligence in a communication system for air traffic controllers' emergency training. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 11(3), 986. <https://doi.org/10.11591/ijai.v11.i3.pp986-994>

- Nguyen, C.-V. (2024). Air Transport Resilience, Tourism and Its Impact on Economic Growth. *Economies*, 12(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/economies12090236>
- Nielsen, K., & Shepherd, R. (2022). Understanding the outcomes of training to improve employee mental health: A novel framework for training transfer and effectiveness evaluation. *Work & Stress*, 36(4), 377–391. <https://doi.org/10.1080/02678373.2022.2028318>
- Raihan, A., Voumik, L. C., Akter, S., Ridzuan, A. R., Fahlevi, M., Aljuaid, M., & Saniuk, S. (2024). Taking flight: Exploring the relationship between air transport and Malaysian economic growth. *Journal of Air Transport Management*, 115, 102540. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102540>
- Shorrock, S. T., & Kirwan, B. (2002). Development and application of a human error identification tool for air traffic control. *Applied Ergonomics*, 33(4), 319–336. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(02\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(02)00010-8)
- Strojny, P., & Dużmańska-Misiarczyk, N. (2023). Measuring the effectiveness of virtual training: A systematic review. *Computers & Education: X Reality*, 2, 100006. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2022.100006>
- Ulandari, N. L. C., & Dyahjatmayanti, D. (2022). Analisis Komunikasi Air Traffic Control (Atc) Dalam Menjaga Kelancaran Lalu Lintas Penerbangan Di Airnav Indonesia Cabang Denpasar Bali. 6(1).
- Updegrave, J. A., & Jafer, S. (2017). Optimization of Air Traffic Control Training at the Federal Aviation Administration Academy. *Aerospace*, 4(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/aerospace4040050>
- Wang, Z., Jiang, P., Wang, Z., Han, B., Liang, H., Ai, Y., & Pan, W. (2024). Enhancing Air Traffic Control Communication Systems with Integrated Automatic Speech Recognition: Models, Applications and Performance Evaluation. *Sensors*, 24(14), 4715. <https://doi.org/10.3390/s24144715>
- Ziakkas, D., Waterman, N., & Pechlivanis, K. (2025). Emerging Technologies in Aviation Competency-Based Training and Assessment Framework: The Simulated Air Traffic Control Environment (SATCE) Influence on Communication Competency. In D. Harris, W.-C. Li, & H. Krömker (Eds.), *HCI International 2024 – Late Breaking Papers* (pp. 337–347). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-76824-8\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-031-76824-8_25)
- Zuluaga-Gomez, J., Prasad, A., Nigmatulina, I., Motliceck, P., & Kleinert, M. (2023). A Virtual Simulation-Pilot Agent for Training of Air Traffic Controllers. *Aerospace*, 10(5), 490. <https://doi.org/10.3390/aerospace10050490>