

Pengaruh Pelatihan, Kelelahan Kerja, dan Komunikasi terhadap Human Factor Personel PKP-PK: A Systematic Literature Review

¹Dera Wahyu Saputra, ²Muhammad Ismail Fathin Hafizh, ³Nawang Kalbuana

^{1,2}Taruna Jurusan Pertolongan Kecelakaan Pesawat, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

³Dosen Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

*Penulis Korespondensi: ¹email: saputradera02@gmail.com, ²email: m.ismailfathin@gmail.com, ³email: nawang.kalbuana@ppicurug.ac.id

Abstract. *The safety of aviation emergency operations is critically dependent on the quality of human factors among Airport Rescue and Fire Fighting (ARFF/PKP-PK) personnel; however, studies that simultaneously integrate its key dimensions remain scarce. This article aims to analyze and synthesize empirical evidence and theoretical frameworks regarding the influence of training, work fatigue, and communication on the human factor of PKP-PK personnel. The study employed a Systematic Literature Review (SLR) approach guided by PRISMA, searching across Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, and Garuda covering 2010–2026. From 183 initially identified articles, 15 passed all selection stages and were analyzed using qualitative thematic analysis. Four primary findings emerged: (1) structured and simulation-based training positively builds PKP-PK personnel's technical competence, though studies directly measuring its impact on specific human factor dimensions remain rare; (2) work fatigue from 24-hour shift systems consistently degrades physiological-cognitive readiness; (3) closed-loop communication and Crew Resource Management (CRM) training form a vital foundation for interpersonal coordination; and (4) these three variables interact—work fatigue functions as a negative moderator undermining training and communication effectiveness, consistent with Reason's (1990) Swiss Cheese Model. The study recommends integrated FRMS implementation, adoption of objective fatigue tools (HRV, PVT), integration of situation awareness and closed-loop communication training into PKP-PK curricula, and systematic emergency communication audits. Empirical research using Structural Equation Modeling across multiple Indonesian airports is warranted.*

Keywords: Human factor; PKP-PK; ARFF; Training; Work fatigue; Communication; Systematic Literature Review

Abstrak. Keselamatan operasi darurat penerbangan sangat bergantung pada kualitas *human factor* personel Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK), namun kajian yang mengintegrasikan dimensi-dimensi utamanya secara simultan masih sangat terbatas. Artikel ini bertujuan menganalisis dan mensintesis bukti empiris serta kerangka teoretis mengenai pengaruh pelatihan, kelelahan kerja, dan komunikasi terhadap *human factor* personel PKP-PK. Penelitian menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review (SLR)* dengan panduan *PRISMA*, mencakup empat basis data (Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, Garuda) dengan rentang tahun 2010–2026. Dari 183 artikel teridentifikasi, 15 artikel lolos seluruh tahapan seleksi dan dianalisis menggunakan analisis tematik kualitatif. Sintesis menghasilkan empat temuan utama: (1) pelatihan terstruktur dan berbasis simulasi terbukti membentuk kompetensi teknis personel PKP-PK secara positif, namun studi yang langsung mengukur dampaknya terhadap dimensi spesifik *human factor* masih sangat langka; (2) kelelahan kerja akibat sistem *shift* 24 jam secara konsisten menurunkan kesiapan fisiologis-kognitif; (3) *closed-loop communication* dan pelatihan *CRM* merupakan fondasi koordinasi interpersonal yang vital; dan (4) ketiga variabel berinteraksi—kelelahan kerja berperan sebagai moderator negatif yang memperlemah pengaruh pelatihan dan komunikasi, konsisten dengan teori *Swiss Cheese* (Reason, 1990). Kajian ini merekomendasikan penerapan *FRMS* terintegrasi, adopsi alat ukur objektif kelelahan (*HRV* dan *PVT*), pengintegrasian *pelatihan situation*

awareness dan *closed-loop communication* dalam kurikulum PKP-PK, serta audit komunikasi darurat berkala. Penelitian empiris menggunakan *SEM* pada multi-lokasi bandara di Indonesia sangat diperlukan.

Kata kunci: *Human factor*; PKP-PK; *ARFF*; Pelatihan; Kelelahan kerja; Komunikasi; *Systematic Literature Review*

LATAR BELAKANG

Keselamatan penerbangan menuntut kinerja optimal seluruh unsur pendukung, termasuk personel Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK). Personel PKP-PK memegang peranan krusial dalam keadaan darurat di bandar udara, mulai dari pemadaman kebakaran pesawat, evakuasi penumpang, hingga penyelamatan korban kecelakaan. Keberhasilan penanganan insiden tidak hanya bergantung pada kesiapan peralatan dan prosedur, tetapi juga pada kemampuan personel mengambil keputusan secara cepat, tepat, dan terkoordinasi.

Kesiapan personel PKP-PK sangat dipengaruhi oleh *human factor* (faktor manusia), yakni hubungan antara manusia, sistem, lingkungan, dan organisasi untuk mengoptimalkan performa dan meminimalkan *human error* (ICAO, 2014; Reason, 1990). Dalam kajian ini, *human factor* difokuskan pada tiga dimensi: kompetensi teknis (pelatihan), kesiapan fisiologis-kognitif (kelelahan kerja), dan koordinasi interpersonal (komunikasi).

Berbagai laporan keselamatan penerbangan internasional menunjukkan bahwa *human factor* masih menjadi salah satu penyebab utama kecelakaan dan insiden. Kajian (Kharoufah et al., 2018) terhadap lebih dari 200 kecelakaan penerbangan komersial periode 2000–2016 menemukan bahwa kontribusi *human factor* mencapai sekitar 75%, dan laporan (ICAO, 2024) menegaskan bahwa faktor manusia tetap menjadi kontributor dominan dalam insiden penerbangan komersial.

Tiga faktor paling dominan dan saling terkait dalam operasi darurat PKP-PK adalah: pelatihan, kelelahan kerja, dan komunikasi. Pelatihan terstruktur berbasis simulasi meningkatkan respons taktis dan koordinasi tim (Skinner et al., 2020), namun di Indonesia masih terkendala fasilitas simulasi dan anggaran terbatas (Kamil et al., 2024), sehingga berisiko menciptakan *competency gap* yang meningkatkan potensi kesalahan (Adu, 2018).

Kelelahan kerja (*occupational fatigue*) juga menjadi dimensi *human factor* yang kritis. Kelelahan terbukti menurunkan kewaspadaan, memperlambat waktu reaksi, dan memengaruhi kualitas pengambilan keputusan. Tinjauan integratif oleh (Caldwell & Caldwell, 2016) menunjukkan bahwa kerja *shift* secara konsisten mengurangi perilaku keselamatan dan menghambat respons darurat, sementara sistem *shift* 24 jam yang lazim pada unit PKP-PK Indonesia berpotensi memicu kelelahan kronis yang dapat memengaruhi efektivitas operasi penyelamatan.

Komunikasi—baik internal antarpersonel maupun lintas unit dengan ATC/AMC—yang efektif dan didukung SOP terbukti meningkatkan koordinasi tim. (Vieira & Dos Santos, 2010) mengidentifikasi komunikasi interpersonal buruk sebagai penyebab utama

kecelakaan pesawat komersial. Laporan KNKT (2018) mencatat miskomunikasi ATC-pilot dalam kasus *runway incursion* di Bandara Medan 2017, sementara kepatuhan terhadap *standard phraseology* ICAO di lapangan Indonesia masih bervariasi dan jarang diaudit.

Kajian yang mengintegrasikan ketiga dimensi dalam operasional PKP-PK Indonesia masih sangat terbatas—(Budiutomo et al., 2024) mengujinya secara simultan namun hanya di satu bandara dan tanpa sintesis teoritis yang komprehensif. Padahal ketiga faktor dapat terjadi bersamaan dan saling memperkuat dampak negatifnya (Caldwell & Caldwell, 2016; Reason, 1990), sehingga diperlukan sintesis integratif.

Artikel ini bertujuan mengkaji dan mensintesis bukti empiris serta kerangka teoritis mengenai pengaruh pelatihan, kelelahan kerja, dan komunikasi terhadap *human factor* personel PKP-PK melalui pendekatan *Systematic Literature Review*. Hasil kajian diharapkan berkontribusi secara teoretis sekaligus menjadi referensi bagi regulator, pengelola bandar udara, dan institusi pendidikan penerbangan dalam merancang strategi peningkatan kesiapan personel PKP-PK.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan *Systematic Literature Review* (SLR) dengan pendekatan kualitatif, dilakukan dua peneliti secara kolaboratif untuk mensintesis temuan empiris dan kerangka teoretis dari berbagai studi menjadi kerangka konseptual yang utuh. SLR dipilih karena memungkinkan identifikasi, seleksi, evaluasi, dan sintesis penelitian terdahulu secara sistematis dan dapat direplikasi.

Sumber Data dan Strategi Pencarian

Pencarian artikel dilakukan pada Mei 2026 melalui Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, dan Garuda—peneliti pertama menangani dua basis data pertama, peneliti kedua menangani dua terakhir. Sumber data meliputi jurnal ilmiah, prosiding, buku referensi, dan dokumen regulasi penerbangan (ICAO, KNKT). Kombinasi kata kunci bahasa Indonesia dan Inggris yang digunakan adalah:

- Untuk variabel pelatihan: ("*training*" OR "*pelatihan*") AND ("*airport rescue*" OR "*ARFF*" OR "*PKP-PK*" OR "*aviation firefighter*")
- Untuk variabel kelelahan kerja: ("*fatigue*" OR "*kelelahan kerja*" OR "*occupational fatigue*") AND ("*shift work*" OR "*emergency responder*")
- Untuk variabel komunikasi: ("*communication*" OR "*komunikasi*" OR "*Crew Resource Management*" OR "*CRM*") AND ("*airport*" OR "*aviation*" OR "*ATC*")
- Untuk variabel *human factor*: ("*human factor*" OR "*faktor manusia*") AND ("*aviation safety*" OR "*keselamatan penerbangan*")
- Untuk hubungan antarvariabel secara simultan: ("*efek kumulatif*" OR "*interaksi variabel*" OR "*pengaruh simultan*") AND ("*kelelahan*" OR "*pelatihan*" OR "*komunikasi*") AND ("*PKP-PK*" OR "*pemadam bandara*" OR "*keselamatan penerbangan*")

Kata kunci dikombinasikan dengan operator *Boolean* AND/OR sesuai kebutuhan. Mengingat masih terbatasnya studi yang secara eksplisit mengintegrasikan ketiga variabel pada personel PKP-PK, peneliti juga menyertakan literatur dari profesi darurat

serupa—seperti pemadam kebakaran umum dan petugas gawat darurat—sebagai bahan perbandingan konseptual.

Proses Seleksi Artikel

Proses seleksi mengacu pada pedoman *PRISMA* melalui lima tahapan: (1) pencarian awal, (2) penyaringan duplikasi, (3) penyaringan judul/abstrak, (4) pemeriksaan teks lengkap, dan (5) penilaian kualitas menggunakan instrumen *CASP* (Critical Appraisal Skills Programme). Tahap (3)–(5) dilakukan oleh kedua peneliti secara independen; diskrepansi diukur menggunakan *Cohen's Kappa* ($\kappa \geq 0,70 = \text{substantial agreement}$) dan diselesaikan melalui diskusi konsensus yang dicatat dalam *audit trail*.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria Inklusi:

1. Artikel jurnal *peer-reviewed*, prosiding konferensi, buku akademik, atau laporan resmi organisasi penerbangan (ICAO, KNKT, NFPA).
2. Terbit antara tahun 2010–2026. Catatan: kerangka teori klasik seperti (Reason, 1990) dikecualikan dari batas tahun ini dan tetap dimasukkan.
3. Membahas minimal satu dari tiga dimensi *human factor*: (a) kompetensi teknis—pelatihan berbasis simulasi, prosedural, atau *situation awareness*; (b) kesiapan fisiologis-kognitif—*occupational fatigue*, gangguan tidur, atau kerja *shift*; atau (c) koordinasi interpersonal—*closed-loop communication*, *standard phraseology*, atau *CRM*; yang dikaitkan dengan PKP-PK/*ARFF* atau profesi darurat serupa.
4. Studi yang mengkaji pengaruh simultan atau hubungan moderasi antara dua atau lebih variabel diprioritaskan.
5. Tersedia dalam teks lengkap dan dapat diakses.
6. Berbahasa Indonesia atau Bahasa Inggris.

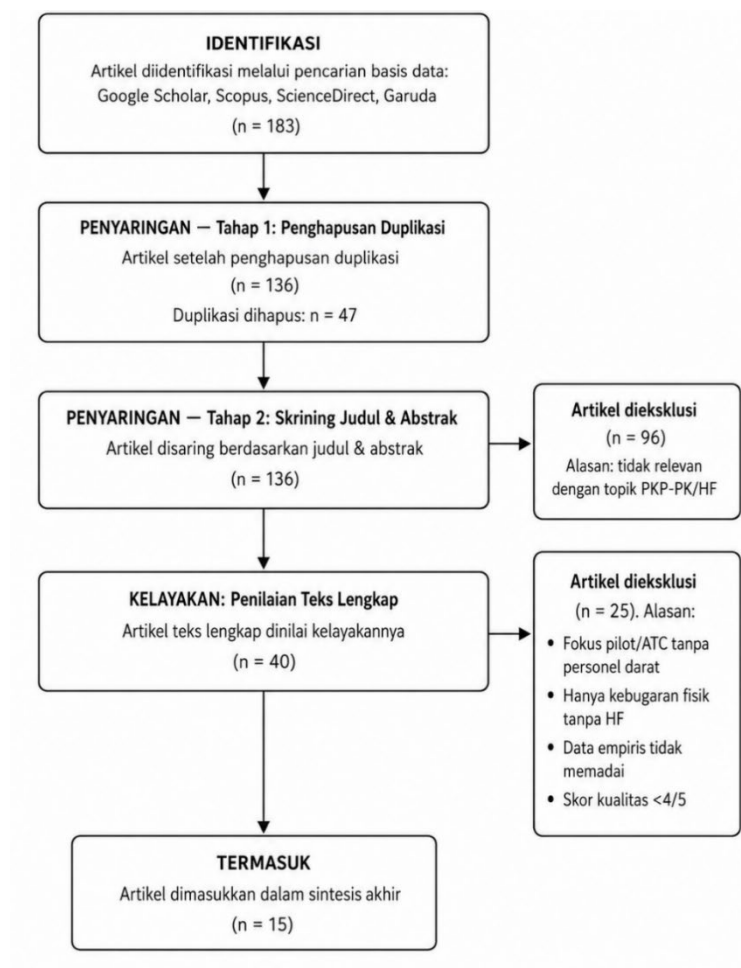
Kriteria Eksklusi:

1. Berupa artikel berita, opini, blog, poster, atau abstrak tanpa teks lengkap.
2. Skripsi, tesis, atau disertasi yang tidak dipublikasikan dalam repositori resmi.
3. Memiliki fokus murni pada aspek teknis pemadaman atau desain peralatan tanpa membahas dimensi *human factor* (fisiologis, kognitif, psikososial, atau organisasi).
4. Tidak relevan dengan konteks operasi darurat atau keselamatan bandara.

Proses Penyaringan Data dan Hasil Seleksi

Pencarian awal menghasilkan 183 artikel; setelah deduplikasi tersisa 136, penyaringan judul/abstrak menyisakan 40 artikel untuk pemeriksaan teks lengkap, dan 25 dieksklusi (fokus eksklusif pilot/ATC, data tidak memadai, atau skor kualitas rendah). Dengan demikian 15 artikel masuk sintesis akhir—jumlah yang memadai mengingat telah tercapai saturasi tematik. Diagram alir *PRISMA* disajikan pada Gambar 2.

Gambar 1. Diagram Alir PRISMA



Validasi dan Keabsahan Data

Kualitas dan keabsahan *review* dijaga melalui: (1) triangulasi peneliti—seleksi dan pengkodean dilakukan secara independen lalu dibandingkan; (2) validasi protokol dengan kepatuhan ketat pada kriteria inklusi/eksklusi; (3) *audit trail* yang mendokumentasikan setiap keputusan dan nilai *Cohen's Kappa*; dan (4) pemeriksaan konsistensi internal antara rumusan masalah, data yang diekstraksi, dan tema sintesis.

Teknik Analisis Data

Data dari 15 artikel terpilih dianalisis menggunakan analisis tematik kualitatif yang meliputi:

Proses analisis meliputi: pembacaan berulang untuk memperoleh pemahaman mendalam; pengkodean awal secara independen terhadap segmen teks yang relevan; *peer-debriefing* untuk menyepakati kode final; pengelompokan kode ke dalam tema utama sesuai empat rumusan masalah; peninjauan dan penyempurnaan tema bersama; serta penyusunan naratif sintesis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari 15 artikel terpilih, 47 kode awal dikelompokkan ke dalam empat tema: peran pelatihan, dampak kelelahan, efektivitas komunikasi, dan interaksi antarvariabel. Tiga

studi merupakan penelitian langsung pada PKP-PK (Budiutomo et al., 2024; Gorman & Herron, 2014; Skinner et al., 2020); dua belas lainnya dari profesi darurat serupa. Matriks ekstraksi data disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Matriks Ekstraksi Data Artikel Terpilih

N o	Penulis/Tahun	Variabel Utama	Metode	Populasi/Konteks	Temuan Utama	Dimensi <i>HUMAN FACTOR</i> yang Relevan
1	(Budiutomo et al., 2024)	Pelatihan, Kelelahan, Komunikasi	Kuantitatif survei	Personel PKP-PK, 1 bandara Indonesia	Ketiga variabel simultan berpengaruh signifikan terhadap kinerja	Ketiga dimensi
2	(Skinner et al., 2020)	Kapasitas fisik, Performa ARFF	Eksperimental fisiologis	Personel ARFF	Kapasitas aerobik & anaerobik = prediktor kuat simulasi ARFF	Kesiapan fisiologis-kognitif
3	(Gorman & Herron, 2014)	Pelatihan <i>VIRTUAL REALITY</i> , <i>Airport familiarization</i>	Kuasi-eksperimental	Personel ARFF, Dallas/Fort Worth	<i>VIRTUAL REALITY</i> 3-D meningkatkan pemahaman sistem pesawat & taktik pemadaman	Kompetensi teknis
4	(Caldwell & Caldwell, 2016)	Kelelahan, Gangguan tidur, <i>Shift</i> kerja	Tinjauan integratif	<i>Emergency responders</i>	Kelelahan menurunkan kewaspadaan, <i>situational awareness</i> , dan perilaku keselamatan	Kesiapan fisiologis-kognitif
5	(Marvin et al., 2023)	Kelelahan, Kurang tidur, Fungsi kognitif	<i>Systematic review</i> (studi)	<i>Emergency first responders</i>	Kelelahan berdampak negatif pada fungsi	Kesiapan fisiologis-kognitif

N o	Penulis/Ta hun	Variabel Utama	Metode	Populasi/Kont eks	Temuan Utama	Dimensi <i>HUMAN FACTOR</i> yang Relevan
					kognitif & <i>safety behaviour</i>	
6	(Xu et al., 2025)	Kelelahan operasional, ECG, <i>Heart Rate Variability</i>	Prediktif/Mac hine Learning	Pemadam kebakaran	Model <i>Heart Rate Variability + Psychomotor Vigilance Task</i> akurasi $R^2=93,24\%$ untuk prediksi kelelahan	Kesiapan fisiologis- kognitif
7	(Vieira & Dos Santos, 2010)	Komunikasi interpersonal , Kecelakaan	Analisis kasus	Penerbangan komersial	Komunikasi buruk = kontributor utama kecelakaan pesawat	Koordinas i interperso nal
8	(KNKT, 2018)	Miskomunik asi ATC- Pilot	Laporan investigasi	Insiden Bandara Medan 2017	Miskomunik asi berkontribus i terhadap <i>runway incursion</i>	Koordinas i interperso nal
9	(Griffith et al., 2015)	CRM, <i>Incident Command System</i>	Meta-analisis	<i>Fire emergency services</i> &	Pelatihan CRM meningkatkan retensi komunikasi terstruktur & koordinasi tim	Kompeten si teknis + Koordinas i interperso nal
10	(Jouanne et al., 2017)	<i>Closed-loop communication</i> , Kinerja tim	Observasional (19 operasi nyata)	14 kru pemadam kebakaran	<i>Closed-loop</i> berkorelasi positif dengan efektivitas tim	Koordinas i interperso nal

No	Penulis/Tahun	Variabel Utama	Metode	Populasi/Konteks	Temuan Utama	Dimensi HUMAN FACTOR yang Relevan
11	(Benderoth et al., 2025)	Kelelahan, Komunikasi kooperatif, Penalaran	Eksperimental	Tim kerja	Komunikasi kooperatif mengompensasi dampak kelelahan terhadap penalaran	Kesiapan fisiologis-kognitif + Koordinasi interpersonal
12	(Hatton et al., 2015)	Pelatihan <i>goal-oriented, Situational awareness</i>	Eksperimental simulasi	Pemadam kebakaran virtual	Pelatihan berorientasi tujuan meningkatkan <i>anticipatory situational awareness</i>	Kompetensi teknis
13	(Santos & Son, 2024)	<i>Situation awareness</i> , Kebakaran pesawat	<i>Goal-directed task analysis</i>	Pemadam kebakaran/PK P-PK	<i>Situational awareness</i> kritis: lokasi penumpang, bahan bakar, jalur evakuasi	Kompetensi teknis
14	(Kamil et al., 2024)	Implementasi pelatihan, Kendala struktural	Deskriptif kualitatif	Bandara Indonesia	Keterbatasan fasilitas & frekuensi latihan menciptakan <i>competency gap</i>	Kompetensi teknis
15	(Reason, 1990)	<i>Human error, Swiss Cheese Model</i>	Teoretis	Sistem berisiko tinggi	Kesalahan muncul dari kombinasi kegagalan individu, sistem, lingkungan	Ketiga dimensi (kerangka teoretis)

Pengaruh Pelatihan terhadap Dimensi *Human factor*

Mayoritas studi konsisten menunjukkan bahwa pelatihan yang terstruktur, berkelanjutan, dan berbasis simulasi memiliki pengaruh positif terhadap pembentukan kompetensi teknis personel PKP-PK (Budiutomo et al., 2024; Gorman & Herron, 2014; Skinner et al., 2020). Pelatihan tidak hanya membekali personel dengan pengetahuan prosedural dan keterampilan teknis, tetapi juga membangun kesiapan mental untuk mengambil keputusan di bawah tekanan, sejalan dengan kerangka (Noe, 2017) yang menekankan analisis kebutuhan dan evaluasi pelatihan.

(Skinner et al., 2020) membuktikan kapasitas aerobik dan anaerobik sebagai prediktor kuat performa *ARFF*, menegaskan pentingnya kebugaran fisik dalam pelatihan. (Gorman & Herron, 2014) menunjukkan bahwa *virtual reality* 3-D meningkatkan *airport familiarization* dan taktik pemadaman pada personel *ARFF*. Namun sebagian besar penelitian—termasuk (Budiutomo et al., 2024)—masih mengukur dampak pelatihan pada kinerja umum, bukan pada dimensi spesifik *human factor*, suatu kesenjangan empiris yang signifikan di konteks bandara Indonesia.

Pelatihan simulasi *real-time* meningkatkan *situation awareness* dan pengambilan keputusan. (Hatton et al., 2015) menemukan bahwa *goal-oriented training* meningkatkan *anticipatory situational awareness*. (Santos & Son, 2024) mengidentifikasi elemen *situational awareness* paling kritis dalam kebakaran pesawat: lokasi penumpang, status bahan bakar, dan jalur evakuasi—kerangka yang langsung relevan bagi kurikulum PKP-PK.

Tanpa evaluasi berkala dan fasilitas memadai, pelatihan justru dapat menciptakan *competency gap* yang membahayakan (Kamil et al., 2024). Selain itu, efektivitas pelatihan di lapangan sangat bergantung pada kondisi fisiologis dan kognitif personel—yang dapat tergerus oleh kelelahan kerja sebagaimana diuraikan berikut.

Pengaruh Kelelahan Kerja terhadap Dimensi *Human factor*

Sintesis menunjukkan kelelahan kerja berpengaruh negatif signifikan terhadap kesiapan fisiologis-kognitif personel PKP-PK. (Caldwell & Caldwell, 2016) menyimpulkan bahwa kelelahan dan kerja *shift* secara konsisten menurunkan kewaspadaan, memperlambat reaksi, dan mengurangi perilaku keselamatan—risiko yang sangat relevan dalam sistem *shift* 24 jam PKP-PK Indonesia.

(Marvin et al., 2023), dalam *systematic review* 34 studi, menyimpulkan kelelahan berdampak negatif konsisten pada fungsi kognitif dan *safety-compromising behaviours emergency first responders*. (Xu et al., 2025) mengembangkan model prediksi kelelahan berbasis *ECG* dan *HRV* dengan akurasi $R^2 = 93,24\%$, menegaskan *HRV* dan *PVT* sebagai alat deteksi dini yang andal dan berpotensi tinggi untuk diterapkan di unit PKP-PK Indonesia.

Kelelahan juga mengganggu koordinasi tim karena individu yang lelah cenderung mengalami penurunan kapasitas komunikasi dan kesalahan persepsi instruksi. Studi pada PKP-PK Indonesia masih sangat terbatas—(Budiutomo et al., 2024) memasukkan variabel kelelahan namun belum mengaitkannya dengan dimensi *human factor* secara spesifik.

Kelelahan memiliki dampak sekunder yang krusial: mengganggu kualitas komunikasi. Ketika personel berada dalam kondisi lelah, kemampuan memproses

informasi dan menyampaikan instruksi secara akurat menurun drastis, mengarahkan perhatian pada dimensi ketiga *human factor*, yaitu komunikasi.

Pengaruh Komunikasi terhadap Dimensi *Human factor*

Komunikasi efektif merupakan faktor kunci dimensi koordinasi interpersonal PKP-PK. (Vieira & Dos Santos, 2010) menemukan komunikasi interpersonal buruk sebagai kontributor utama kecelakaan pesawat komersial. Laporan (KNKT, 2018) mengidentifikasi miskomunikasi ATC-pilot sebagai penyebab *runway incursion* di Indonesia, mengindikasikan bahwa kegagalan komunikasi juga terjadi di lingkungan darat bandara.

Pelatihan *CRM*, *standard phraseology*, dan prosedur *readback/hearback* terbukti meningkatkan akurasi komunikasi darurat. (Griffith et al., 2015) menemukan *CRM* meningkatkan retensi komunikasi terstruktur dan koordinasi tim pada *fire and emergency services*. (Jouanne et al., 2017), dalam observasi 19 operasi nyata, menemukan *enriched closed-loop communication* berkorelasi positif dengan efektivitas tim—kegagalannya dapat menyebabkan tim *water cannon* bergerak ke posisi salah atau keterlambatan evakuasi.

(Benderoth et al., 2025) menemukan bahwa tim yang bekerja secara kooperatif mampu mengompensasi sebagian efek buruk kelelahan terhadap penalaran logis melalui penyesuaian perilaku komunikasi. Ini memperkuat argumen bahwa pelatihan *CRM* dan *closed-loop communication* dapat menjadi strategi mitigasi efektif terhadap dampak kelelahan.

Studi komunikasi pada PKP-PK masih menggunakan indikator kinerja umum dan belum mengukur koordinasi interpersonal secara langsung. Kepatuhan terhadap protokol komunikasi darurat di Indonesia masih bervariasi dan jarang diaudit (Budiutomo et al., 2024), sehingga diperlukan penelitian yang mengaitkan *closed-loop communication* dengan dimensi koordinasi interpersonal *human factor* PKP-PK.

Ketiga faktor tersebut—pelatihan, kelelahan, dan komunikasi—masing-masing memainkan peran penting namun tidak mandiri. Sub-bab berikut menyintesis bagaimana interaksi antartiga faktor membentuk *human factor* personel PKP-PK.

Interaksi antara Pelatihan, Kelelahan Kerja, dan Komunikasi

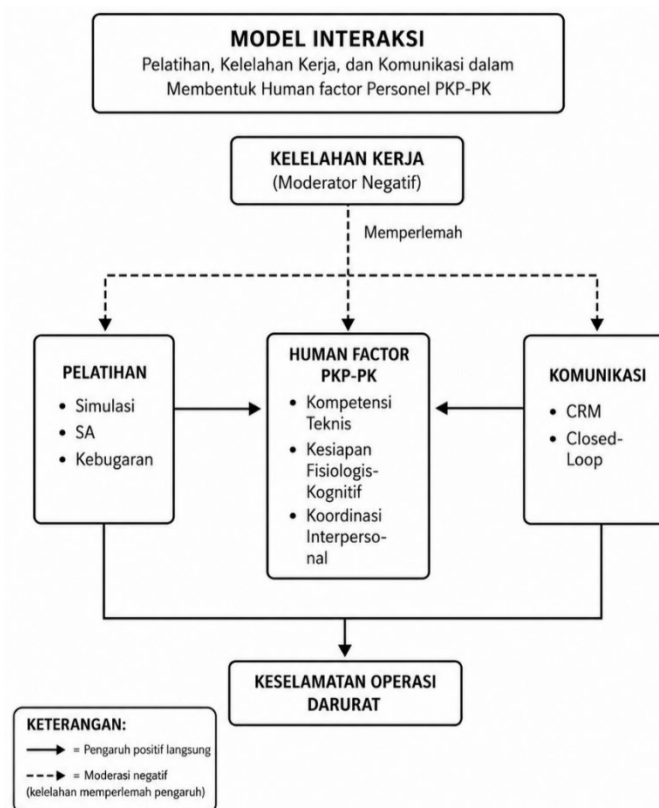
Temuan terpenting dari sintesis ini adalah adanya interaksi saling memoderasi antara pelatihan, kelelahan kerja, dan komunikasi dalam membentuk *human factor* personel PKP-PK. Secara konseptual dan empiris, ketiga faktor ini tidak bekerja secara terisolasi, melainkan membentuk efek kumulatif terhadap keselamatan operasi darurat.

Pelatihan membangun kompetensi teknis, namun kelelahan dapat menggerus efektivitasnya—namun model prediksi (Xu et al., 2025) menunjukkan kelelahan dapat diantisipasi untuk menjadwalkan intervensi secara strategis. Tim yang terlatih dalam komunikasi terstruktur (Benderoth et al., 2025) tetap mampu mempertahankan koordinasi meski mengalami gangguan tidur, menjadikan pelatihan *CRM* dan *closed-loop communication* (Jouanne et al., 2017) sebagai *buffer* terhadap kelelahan.

Pelatihan *situational awareness* memperkuat komunikasi: (Santos & Son, 2024) menunjukkan bahwa *SA* yang terlatih membekali personel dengan kerangka mental untuk komunikasi terfokus saat insiden, dan (Hatton et al., 2015) menemukan *goal-oriented training* meningkatkan anticipatory *SA* yang mengurangi komunikasi reaktif. Dengan demikian, pelatihan *SA* memperkuat komunikasi, komunikasi terstruktur mengurangi dampak kelelahan, dan pengelolaan kelelahan memungkinkan hasil pelatihan termanifestasi secara optimal.

Model interaksi ini menempatkan kelelahan sebagai moderator negatif: investasi pada pelatihan dan komunikasi tidak akan optimal jika kelelahan tidak dikelola serius. Pengelolaan kelelahan yang baik—melalui kebijakan *shift* manusiawi, pemantauan *HRV* (Xu et al., 2025), dan *FRMS*—akan memperkuat efektivitas pelatihan dan komunikasi. Hal ini konsisten dengan model *Swiss Cheese* (Reason, 1990): kelelahan yang tidak terkelola membuka celah bagi kegagalan berlapis, menciptakan lintasan kecelakaan.

Gambar 2. Diagram Interaksi



Sintesis ini menghasilkan kerangka konseptual integratif yang menempatkan ketiga faktor—pelatihan, kelelahan, dan komunikasi—sebagai variabel yang saling memengaruhi dan secara bersama-sama menentukan kualitas *human factor* personel PKP-PK.

Keterbatasan Penelitian

Keterbatasan kajian meliputi: (1) terbatasnya studi spesifik PKP-PK Indonesia sehingga sintesis mengandalkan profesi darurat serupa dengan perbedaan kontekstual; (2) heterogenitas metode di antara 15 artikel membatasi perbandingan kuantitatif; (3) potensi subjektivitas dalam penilaian kualitas meski diminimalkan melalui *audit trail*; dan (4)

dominasi instrumen subjektif dalam studi kelelahan yang belum terintegrasi dengan data objektif dari lapangan Indonesia.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan sintesis terhadap 15 artikel terpilih, kajian ini menghasilkan empat kesimpulan utama:

Pertama, pelatihan terstruktur dan berbasis simulasi terbukti membentuk kompetensi teknis PKP-PK secara positif, namun studi yang secara langsung mengukurnya pada dimensi spesifik *human factor* masih langka.

Kedua, kelelahan kerja—khususnya akibat sistem *shift* 24 jam—secara konsisten menurunkan kesiapan fisiologis-kognitif personel. Alat ukur objektif *HRV* dan *PVT* membuka peluang deteksi dini yang belum dimanfaatkan.

Ketiga, *closed-loop communication* dan pelatihan *CRM* merupakan fondasi koordinasi interpersonal yang vital, namun studi komunikasi pada PKP-PK masih menggunakan indikator kinerja umum.

Keempat (kontribusi utama), ketiga faktor tidak bekerja terisolasi: kelelahan kerja berfungsi sebagai moderator negatif yang memperlemah pengaruh positif pelatihan dan komunikasi terhadap *human factor*, konsisten dengan *Swiss Cheese Model* (Reason, 1990).

Rekomendasi meliputi: penerapan *FRMS* terintegrasi, adopsi pemantauan *HRV* dan *PVT*, pengintegrasian pelatihan *situation awareness* dan *closed-loop communication* ke dalam kurikulum PKP-PK, serta audit komunikasi darurat berkala. Model interaksi ini perlu diuji empiris menggunakan *SEM* pada multi-lokasi bandara di Indonesia.

Saran

Saran Untuk Peneliti Selanjutnya

1. Uji Empiris Model Interaksi. Penelitian selanjutnya disarankan menguji model interaksi ini secara empiris menggunakan *Structural Equation Modeling (SEM)* dengan *human factor* sebagai variabel laten multidimensi, melibatkan sampel dari berbagai kategori bandara Indonesia (internasional, domestik, perintis) untuk meningkatkan generalisabilitas temuan.
2. Penggunaan Alat Ukur Objektif dan Studi Longitudinal. Penelitian ke depan disarankan mengadopsi *HRV* dan *PVT* (Xu et al., 2025) menggantikan kuesioner subjektif, serta menggunakan desain longitudinal untuk menilai keberlanjutan efektivitas intervensi terpadu (*FRMS* + pelatihan *SA* + *closed-loop communication*).

Saran untuk Regulator dan Pengelola Bandar Udara

1. Implementasi *FRMS* dan Pemantauan Kelelahan Objektif. Regulator penerbangan disarankan mendorong penerapan *FRMS* terintegrasi dengan penjadwalan *shift*, dan unit PKP-PK dianjurkan mengadopsi pemantauan *HRV* dan *PVT* sebagai

prosedur *fitness for duty* sebelum bertugas, khususnya pada *shift* malam atau pasca-insiden besar.

2. Pengintegrasian Pelatihan *SA* dan *Closed-loop Communication*, serta Audit Berkala. Kurikulum PKP-PK perlu memasukkan modul *situation awareness* (Santos & Son, 2024) dan *closed-loop communication* (Jouanne et al., 2017) sebagai komponen wajib, dengan kepatuhan terhadap *standard phraseology* ICAO diaudit secara sistematis dan berkala sebagai dasar pelatihan *CRM* yang terarah.
3. Pendekatan Terpadu. Pengelola bandara perlu mengoordinasikan unit pelatihan, keselamatan, dan operasional dalam satu kerangka kebijakan *human factor* yang holistik, tidak lagi memperlakukan pelatihan, kelelahan, dan komunikasi sebagai isu terpisah.

DAFTAR REFERENSI

- Adu, K. (2018). Rescue And Firefighting Services: How Can You Plan For A Better Service And Run An Emergency Exercise That Really Tests Contingencies? *Journal of Airport Management*, 12(3).
- Benderoth, S., Muhl, C., & Bruder, C. (2025). Cooperative Teamwork In A Simulated Control Room As A Countermeasure Against Performance Impairment Due To Combined Effects Of Sleep Loss And Circadian Misalignment. *Sleep*, 48(7). <https://doi.org/10.1093/sleep/zsaf092>
- Budiutomo, P., Anggrean, D. P. A., & Wagini, D. (2024). Pengaruh Kesehatan Dan Keselamatan Kerja (K3) Terhadap Kinerja Personil PKP-PK Di Bandar Udara. *MERDEKA: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(6), 175–184. <https://doi.org/10.62017/merdeka.v1i6.1840>
- Caldwell, J. A., & Caldwell, J. L. (2016). *Fatigue In Aviation: A Guide To Staying Awake At The Stick* (2nd ed.). Routledge. <https://www.routledge.com/Fatigue-in-Aviation-A-Guide-to-Staying-Awake-at-the-Stick/Caldwell-Caldwell/p/book/9781472464590>
- Gorman, M. K., & Herron, R. I. (2014). Interactive 3-D Software In Aircraft Rescue And Fire Fighting Training. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 3(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.15394/ijaaa.2016.1031>
- Griffith, J., Roberts, D., & Wakeham, R. (2015). A Meta-Analysis Of Crew Resource Management/Incident Command Systems Implementation Studies In The Fire And Emergency Services. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research*. <https://doi.org/10.15394/jaaer.2015.1647>
- Hatton, S. C., Butler, P. C., & Honey, R. C. (2015). Goal-Oriented Training Affects Decision-Making Processes In Virtual And Simulated Fire And Rescue Environments. *Journal of Experimental Psychology: Applied*. <https://doi.org/10.1037/xap0000061>
- ICAO, I. C. A. O. (2003). *Human Factors Guidelines for Aircraft Maintenance Manual* International Civil Aviation Organization.

- ICAO, I. C. A. O. (2012). Fatigue Risk Management Systems Manual For Regulators (Doc 9966). In *ICAO Doc 9859*. ICAO. <https://www.icao.int>
- ICAO, I. C. A. O. (2014). *Human Factors Training Manual: Doc 9683-AN/950* (2nd ed.). ICAO. <https://planetis.ch/icao/seite-10/>
- ICAO, I. C. A. O. (2024). *ICAO Safety Report 2024: Doc 10075*. ICAO. <https://unitingaviation.com/news/safety/in-our-2024-safety-report-aviation-safety-amid-the-challenges-of-pandemic-recovery/>
- Jouanne, S., Charron, C., Chauvin, C., & Morel, G. (2017). Correlates Of Team Effectiveness: An Exploratory Study Of Firefighter's Operations During Emergency Situations. *Applied Ergonomics*. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.01.005>
- Kamil, M. T., Luhur, S. B., & Tri Saputra SST, S. (2024). Tingkat Kesiapsiagaan Dan Kualitas SDM Personel PKP PK: Pengaruh Penempatan Kerja Dan Penambahan Kompetensi. *Jurnal Ekonomi, Manajemen Dan Akuntansi*, 2(10), 415–428. <https://doi.org/https://doi.org/10.572349/neraca.v2i10.2580>
- Kharoufah, H., Murray, J., Baxter, G., & Wild, G. (2018). A Review Of Human Factors Causations In Commercial Air Transport Accidents And Incidents: From 2000-2016. *Progress in Aerospace Sciences*, 99, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.03.002>
- KNKT, K. N. K. T. (2018). *Final Report: Runway Incursion Involving ATR 72-500 (PK-WFF) And Boeing 737-900ER (PK-LJZ), Medan, Indonesia, 3 August 2017*. Komite Nasional Keselamatan Transportasi. <https://skybrary.aero/accidents-incidents/atr-72-and-b737-runway-incursion-medan-indonesia-2017>
- Marvin, G., Schram, B., Orr, R., & Canetti, E. F. D. (2023). Occupation-Induced Fatigue And Impacts On Emergency First Responders: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph20227055>
- Noe, R. A. (2017). *Employee Training And Development* (7th ed.). McGraw-Hill.
- Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/core/books/human-error/922E727E2BFC8404297B8E4E76CF8AE5>
- Robbins, S. P., & Judge, T. A. (2019). *Organizational Behavior* (18th ed.). Pearson.
- Santos, M. D., & Son, J. (2024). Identifying Firefighters' Situation Awareness Requirements For Fire And Non-Fire Emergencies Using A Goal-Directed Task Analysis. *Applied Ergonomics*. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104136>
- Skinner, T. L., Kelly, V. G., Boytar, A. N., Peeters, G. G., & Rynne, S. B. (2020). Aviation Rescue Firefighters Physical Fitness And Predictors Of Task Performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(12), 1228–1233. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.05.013>

- Suma'mur, P. K. (2014). *Higiene Perusahaan Dan Kesehatan Kerja (Hiperkes)* (Edisi 2). Sagung Seto.
- Vieira, A. M., & Dos Santos, I. C. (2010). Communication Skills: A Mandatory Competence For Ground And Airplane Crew To Reduce Tension In Extreme Situations. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 2(3), 361–366. <https://doi.org/10.5028/jatm.2010.02038110>
- Xu, M., Yang, S., Wang, K., Yu, C., Liu, G., & Dai, C. (2025). A Study On The Classification And Prediction Of Firefighter's Operational Fatigue Level. *PLOS ONE*, 20(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323911>