

Pengembangan Prototipe Mock-Up Engine Pesawat Media Latihan Simulasi Penanggulangan Kebakaran Personel PKP-PK Bandar Udara

Syaiful Hakim Ariyan Dinata¹ Imam Sonhaji² Rahmawati Sukra³

Program Studi Diploma III Pertolongan Kecelakaan Pesawat, Politeknik Penerbangan
Indonesia Curug, Tangerang, Banten, Indonesia^{1,2,3}

Email: sayfulhakim28@gmail.com¹ imam.sonhaji@ppicurug.ac.id²
rahmawati.sukra@ppic.ac.id³

Abstrak

Pelayanan Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK) di bandar udara menghadapi tantangan belum optimalnya media latihan simulasi kebakaran engine pesawat. Penggunaan drum bekas membutuhkan waktu dan tenaga persiapan yang lama serta berisiko, sedangkan prototipe bertekanan terdahulu masih mengalami ketidakstabilan semburan api, kelemahan isolasi termal selang, serta bentuk fisik yang belum merepresentasikan engine pesawat. Penelitian ini dilakukan untuk menghadirkan sarana simulasi fisik yang aman, realistis, dan terkendali guna meningkatkan kesiapsiagaan operasional personel. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji tingkat kelayakan prototipe mock-up engine pesawat sebagai media latihan simulasi penanggulangan kebakaran bagi personel PKP-PK. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) Level 1 dengan model Borg and Gall yang disesuaikan, meliputi tahapan penelitian produk, perencanaan, pengembangan produk awal, uji fungsi terbatas, validasi ahli. Metode R&D Level 1 dipilih karena sangat tepat untuk mengidentifikasi kebutuhan spesifik, merancang prototipe awal, serta mengevaluasi kelayakan teknis melalui penilaian ahli sebelum diterapkan dalam skala luas. Hasil penelitian menghasilkan prototipe berbahan pelat besi silindris tebal 1,2 mm dengan sistem pembakaran LPG bertekanan yang dilengkapi spuyer nozzle burner, regulator, selang pelindung tahan panas, pemantik elektrik terintegrasi (step-up 400.000 V), serta penambahan roda untuk kemudahan mobilisasi. Hasil uji validasi oleh ahli materi menunjukkan persentase kelayakan sebesar 90,7% yang termasuk dalam kategori Sangat Layak. Disimpulkan bahwa prototipe mock-up engine pesawat sangat layak dan efisien digunakan sebagai media latihan simulasi kebakaran engine pesawat bagi personel PKP-PK di bandar udara secara terkendali. Penelitian lanjutan direkomendasikan untuk menambahkan sensor kebocoran gas, sistem pengatur tekanan otomatis, blower untuk pasokan udara, serta mengukur efektivitas peningkatannya terhadap kompetensi taktis personel secara kuantitatif.

Kata Kunci: *Mock-Up Engine Pesawat, PKP-PK, Simulasi Kebakaran, Media Latihan, Research and Development (R&D)*



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

PENDAHULUAN

Sesuai amanat Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan, bandar udara merupakan kawasan daratan atau perairan dengan batas-batas tertentu yang digunakan sebagai lokasi pendaratan, lepas landas, serta pergerakan penumpang dan barang (Republik Indonesia, 2009). Sebagai simpul transportasi yang berisiko tinggi, bandar udara wajib dilengkapi fasilitas keselamatan yang mumpuni. Salah satu unit vital penjamin keselamatan operasional penerbangan adalah unit Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK). Berdasarkan standar internasional International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14 Volume I Aerodromes, unit PKP-PK diwajibkan memiliki kesiapsiagaan tinggi untuk merespons kejadian darurat secara cepat dan efektif (ICAO, 2013). Kebakaran pada bagian mesin (engine) pesawat udara merupakan skenario keadaan darurat kategori kritis karena melibatkan bahan bakar avtur (flammable liquid) bertekanan, oli pelumas, serta suhu operasional komponen mekanis yang sangat tinggi (Koçali, 2023). Kondisi

ini menuntut personel PKP-PK untuk menguasai keterampilan taktis pemadaman yang presisi melalui latihan simulasi secara berkala dan berkesinambungan (Setiyanto et al., 2021).

Penggunaan media latihan berupa alat simulasi fisik atau mock-up terbukti secara signifikan dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran praktik, pemahaman prosedur teknis, serta kepercayaan diri personel dalam menghadapi situasi darurat nyata (Simanjuntak et al., 2024; Wiyono & Pramundita, 2023). Hal ini sejalan dengan standar National Fire Protection Association (NFPA 403) dan ICAO Airport Services Manual Doc 9137 Part 1 yang mewajibkan penyelenggaraan latihan pemadaman api hidup (live fire training) berbasis skenario realistis mencakup kebakaran bahan bakar cair dan kebakaran engine pesawat (ICAO, 2014; NFPA, 2017). Berbagai penelitian media pelatihan modern menekankan pentingnya integrasi alat peraga fisik langsung guna membentuk kemampuan analisis situasi dan ketepatan tindakan operasional (Berthiaume et al., 2024; Lateef, 2010; Wu et al., 2023). Namun demikian, kondisi riil sarana latihan PKP-PK di banyak unit operasional masih didominasi oleh penggunaan media konvensional berupa potongan drum bekas bahan bakar. Media konvensional ini memiliki keterbatasan serius, seperti membutuhkan waktu dan tenaga persiapan yang lama, menyerap bahan bakar cair berlebih, menghasilkan emisi asap beracun yang pekat, serta sama sekali tidak merepresentasikan geometri maupun karakteristik dinamika semburan api pada engine pesawat udara.

Upaya menyempurnakan media latihan telah diawali oleh Fakhreza (2025) yang merancang mock-up pemadaman bahan bakar bertekanan. Meskipun penelitian tersebut berhasil membuktikan efisiensi penggunaan bahan bakar LPG dibandingkan dengan drum bekas, kajian evaluatif menunjukkan masih terdapat celah penelitian (research gap) dan kelemahan fungsional yang signifikan. Kelemahan tersebut antara lain: pancaran api yang dihasilkan belum stabil dan kurang terarah, material rangka alat rentan mengalami deformasi termal setelah terpapar panas tinggi secara berulang, selang penyalur LPG belum dilengkapi pelindung panas sehingga berisiko bocor karena meleleh, mekanisme penyalan masih manual menggunakan korek api terbuka yang membahayakan keselamatan operator, serta bentuk fisik alat belum menyerupai konstruksi cowl engine pesawat. Kesenjangan ini menegaskan pentingnya melakukan pengembangan lanjutan untuk menghadirkan prototipe mock-up engine pesawat yang lebih realistis, aman, tahan panas, dan mudah dipindahkan.

Berdasarkan kesenjangan ilmiah dan kebutuhan praktis tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang prototipe mock-up engine pesawat berbasis bahan bakar LPG bertekanan, mengembangkan instalasi pembakaran terintegrasi dengan pemantik elektrik dan selang tahan panas, serta menguji tingkat kelayakan alat berdasarkan validasi ahli materi. Kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada integrasi bodi silindris pelat besi menyerupai engine pesawat, penggunaan spuyer nozzle burner terarah, sistem pemantik spark generator tegangan tinggi terisolasi, serta penerapan rangka portabel beroda yang memenuhi standar keselamatan Live Fire Training. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis bagi pengembangan media pelatihan PKP-PK sekaligus memberikan solusi praktis berupa sarana simulasi yang efisien, aman, dan siap guna bagi unit pemadam kebakaran bandar udara.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	Wu et al. (2023)	Prototyping an Online Virtual Simulation	Mengembangkan platform simulasi virtual untuk latihan terstruktur	R&D / Design Thinking	Simulasi berbasis prototipe meningkatkan berpikir kritis	Memberikan landasan teoritis efektivitas media simulasi dalam

		Course Platform			dan efektivitas latihan	membentuk respons taktis.
2	Wiyono & Pramundita (2023)	Application of Contextual Teaching Using Mockup Media	Menganalisis pengaruh penggunaan mock-up dalam pembelajaran praktik	Kuantitatif Eksperimen	Penggunaan media mock-up meningkatkan keaktifan dan pencapaian kompetensi praktik	Menjadi dasar pentingnya media fisik mock-up dalam meningkatkan efektivitas pelatihan vokasi.
3	Fakhreza (2025)	Rancangan Mock-Up Bahan Bakar Bertekanan bagi Personel PKP-PK	Merancang mock-up pemadaman bertekanan sebagai pengganti drum bekas	Research & Development (R&D)	Menghasilkan alat pemadaman bertekanan yang lebih hemat dan ramah lingkungan	Menjadi titik tolak (research gap) pengembangan semburan api, keselamatan selang, dan bentuk engine.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) Level 1 yang mengacu pada model Borg and Gall dan disesuaikan dengan kebutuhan pengembangan prototipe awal. Metode R&D Level 1 berfokus pada penelitian untuk menghasilkan rancangan produk, pembuatan bentuk awal prototipe, pengujian fungsionalitas terbatas, serta penilaian kelayakan oleh ahli tanpa melakukan uji efektivitas operasional berskala luas di lapangan. Alasan pemilihan metode ini adalah sifat pengembangan alat simulasi fisik yang memerlukan validasi konseptual, keamanan struktur termal, serta pengujian mekanisme pembakaran sebelum diproduksi secara massal atau diaplikasikan secara penuh pada unit PKP-PK.

Tahapan penelitian pengembangan ini dilaksanakan secara terstruktur meliputi empat langkah utama: (1) Tahap Penelitian Produk (Studi Pendahuluan), yaitu melakukan observasi lapangan mengenai sarana latihan pemadaman di Bandara Internasional Yogyakarta dan analisis kelemahan media mock-up bertekanan terdahulu; (2) Tahap Perencanaan, yaitu merumuskan spesifikasi teknis alat, gambar kerja teknik (tampak atas, samping, depan, dan belakang), pemilihan bahan tahan panas, serta rancangan instalasi gas LPG; (3) Tahap Pengembangan Produk Awal, yaitu melakukan fabrikasi mekanis, fabrikasi rangka, perakitan burner, dan integrasi modul pemantik elektrik di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug; dan (4) Tahap Uji Validasi Model, yaitu melaksanakan demonstrasi uji fungsi terbatas di area terbuka dan mengevaluasi tingkat kelayakan prototipe berdasarkan instrumen penilaian ahli materi PKP-PK.

Bahan dan peralatan utama yang digunakan dalam pengembangan prototipe ini meliputi: pelat besi lembaran tebal 1,2 mm sebagai bahan bodi silinder cowl engine, pipa galvanis 1.5 inci sebagai jalur gas dilanjutkan ke spuyer, spuyer nozzle burner kuningan sebagai pemancar api, regulator gas LPG High/Low Pressure, selang gas dengan pelindung kawat spiral tahan panas, modul pemantik elektrik step-up DC 3,7V-6V ke 400.000V yang terhubung baterai lithium 18650, empat buah roda PVC caster wheel 2 inci yang dilengkapi pengunci posisi, serta tabung LPG 3 kg sebagai sumber bahan bakar. Peralatan kerja mekanis utama yang digunakan terdiri atas mesin las listrik inverter, mesin gerinda potong/asah, dan mesin bor tangan. Peralatan pendukung kecil non-utama tidak dicantumkan untuk menjaga fokus rancangan teknik.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi fungsional, dokumentasi pengujian, dan pengisian lembar validasi oleh evaluator ahli materi yang berpengalaman di bidang pelatihan PKP-PK. Instrumen validasi dirancang untuk mengukur 15 indikator spesifik yang terbagi ke dalam 6 aspek utama: Kesesuaian Desain Prototipe (3 indikator), Sistem Pembakaran (3 indikator), Material Prototipe (2 indikator), Kemudahan Operasional dan Mobilitas (3 indikator), Keselamatan Penggunaan (2 indikator), dan Kelayakan Prototipe (2

indikator). Setiap indikator dinilai menggunakan skala Likert 5 tingkat (1 = {Sangat Kurang}, 2 = {Kurang}, 3 = {Cukup}, 4 = {Baik}, 5 = {Sangat Baik}). Persentase kelayakan (P) dihitung menggunakan rumus:

$$P = (\sum X / \sum X_{maks}) \times 100\%$$

- Keterangan: P merupakan persentase kelayakan produk (%)
- $\sum X$ adalah total skor empiris yang diberikan oleh evaluator
- $\sum X_{maks}$ adalah total skor maksimal ideal (15 indikator $\times$ 5 = 75). Kriteria kelayakan produk dikategorikan ke dalam lima tingkatan persentase berdasarkan standar baku R&D Borg and Gall.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil penelitian pengembangan ini mewujudkan produk fisik prototipe mock-up engine pesawat yang dirancang khusus sebagai media latihan simulasi penanggulangan kebakaran. Prototipe ini terdiri atas bodi utama berbentuk silinder pelat besi tebal 1,2 mm berdiameter 30 cm dan panjang 60 cm yang dibentuk menyerupai cowl engine pesawat udara. Bodi silinder dipasang kokoh di atas rangka besi ulir setinggi 40 cm yang dilengkapi empat roda PVC caster wheel berpenutup kunci untuk memudahkan mobilitas antar lokasi latihan. Di dalam ruang silinder terpasang spuyer nozzle burner kuningan yang terhubung dengan instalasi LPG melalui selang gas berpelindung kawat spiral tahan panas dan regulator bertekanan. Untuk meningkatkan keselamatan kerja, alat dilengkapi sistem pemantik elektrik spark generator tegangan tinggi (step-up 400.000 V) yang dinyalakan melalui sakelar tekan eksternal, sehingga operator tidak perlu berada di dekat muara api saat proses penyalaan awal.

Uji fungsi terbatas menunjukkan bahwa sistem pembakaran LPG bertekanan mampu menghasilkan semburan api yang konstan dan terarah, serta intensitas nyalanya dapat diatur secara presisi melalui putaran katup regulator. Pengujian ketahanan termal membuktikan bahwa struktur pelat besi 1,2 mm dan selang berpelindung spiral tidak mengalami pembengkokan (deformasi) maupun kebocoran setelah terpapar nyala api langsung secara berulang. Hasil evaluasi kelayakan yang dilakukan oleh ahli materi PKP-PK disajikan secara rinci pada Tabel 2. Berdasarkan data validasi kuantitatif, prototipe mock-up engine pesawat memperoleh total skor empiris sebesar 68 dari total skor maksimal ideal 75, sehingga menghasilkan persentase kelayakan $P = (68 / 75) \times 100\% = 90,7\%$.

Tabel 1. Hasil Penilaian Validasi Kelayakan Prototipe oleh Ahli Materi

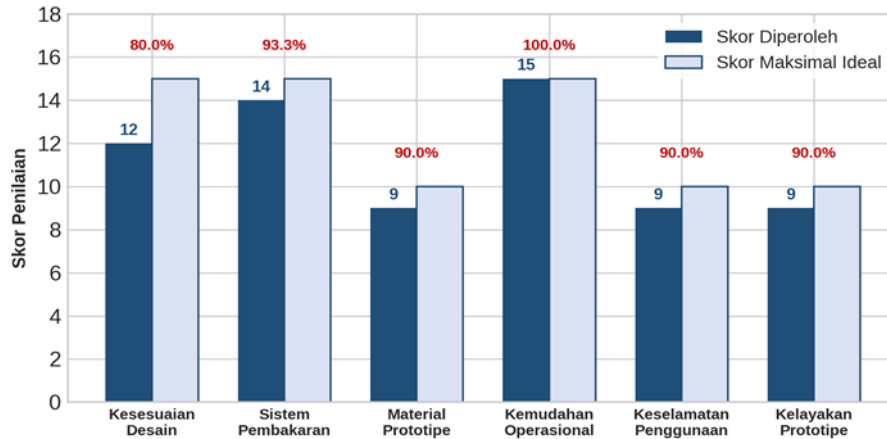
No	Aspek Penilaian	Jumlah Indikator	Skor Empiris	Skor Maksimal	Persentase (%)	Kategori Kelayakan
1	Kesesuaian Desain Prototipe	3	12	15	80,0%	Sangat Layak
2	Sistem Pembakaran	3	14	15	93,3%	Sangat Layak
3	Material Prototipe	2	9	10	90,0%	Sangat Layak
4	Kemudahan Operasional dan Mobilitas	3	15	15	100,0%	Sangat Layak
5	Keselamatan Penggunaan	2	9	10	90,0%	Sangat Layak
6	Kelayakan Prototipe Media Latihan	2	9	10	90,0%	Sangat Layak
	Total Skor dan Rata-Rata Kelayakan	15	68	75	90,7%	Sangat Layak

Tabel 2. Kriteria Persentase Kelayakan Produk

Persentase Skor (P)	Kriteria Kelayakan
$80\% < P \leq 100\%$	Sangat Layak
$60\% < P \leq 80\%$	Layak

40% < P ≤ 60%	Cukup Layak
20% < P ≤ 40%	Kurang Layak
0% < P ≤ 20%	Sangat Kurang Layak

Gambar 1. Grafik Persentase Skor Hasil Validasi Ahli Materi per Aspek Penilaian



Gambar 2. Skema Konstruksi dan Alur Kerja Sistem Pembakaran Prototipe Mock-Up Engine Pesawat



Pembahasan

Pembahasan hasil penelitian dilakukan secara ilmiah dengan menganalisis tiga unsur utama: (1) unsur what/how, yaitu menyampaikan fakta terolah dan mekanisme kerja alat; (2) unsur why, yaitu mengaitkan temuan dengan konsep dasar ilmiah dan regulasi keselamatan penerbangan; serta (3) unsur what else, yaitu memperbandingkan hasil penelitian dengan temuan peneliti terdahulu. Terkait unsur what/how, data empiris menunjukkan bahwa prototipe ini mencapai tingkat kelayakan 90,7% (kategori Sangat Layak). Aspek Kemudahan Operasional dan Mobilitas memperoleh skor sempurna 100% (15/15) karena keberadaan roda PVC caster wheel dan sistem pemantik elektrik step-up terbukti menyederhanakan alur kerja latihan. Operator cukup menghubungkan regulator ke tabung LPG, membuka katup gas, dan menekan tombol pemantik untuk menghasilkan nyala api simulatif secara instan. Penyiapan alat hanya membutuhkan waktu kurang dari 3 menit, jauh lebih efisien dibandingkan penyiapan drum bekas konvensional yang memakan waktu hingga 20–30 menit.

Terkait unsur why, keandalan sistem pembakaran prototipe ini berlandaskan pada prinsip fenomena pembakaran ilmiah Tetrahedron Api, yaitu keterkaitan antara bahan bakar (gas LPG), oksigen (udara ambient), panas (spark pemantik elektrik), dan reaksi kimia berantai. Penggunaan spuyer nozzle burner kuningan menjamin pencampuran gas LPG dan oksigen berlangsung sempurna, menghasilkan lidah api yang stabil, fokus, dan tidak gampang padam oleh embusan angin sedang. Dari aspek keselamatan kerja (safety), penerapan selang pelindung kawat spiral mencegah paparan panas radiasi langsung yang dapat menyebabkan pelunakan atau kebocoran selang bahan bakar. Hal ini memenuhi ketentuan keselamatan Live Fire Training yang disyaratkan dalam ICAO Doc 9137 Part 1 dan NFPA 403, di mana media latihan harus memiliki mekanisme penghentian darurat (emergency shut-off) cepat melalui penutupan katup regulator gas (ICAO, 2014; NFPA, 2017).

Terkait unsur what else, hasil penelitian ini terbukti berhasil mengatasi kelemahan-kelemahan utama pada rancangan mock-up bahan bakar bertekanan yang dikembangkan oleh Fakhreza (2025). Jika pada penelitian Fakhreza (2025) semburan api masih belum stabil, bentuk alat belum menyerupai engine, dan penyalaan api masih manual menggunakan korek api yang berisiko, maka prototipe ini memberikan solusi komprehensif melalui integrasi bodi silinder cowl engine, pemantik spark generator tegangan tinggi terisolasi, serta struktur pelat besi 1,2 mm yang tahan deformasi termal. Temuan ini menguatkan kajian Wiyono & Pramundita (2023) serta Setiyanto et al. (2021) bahwa peningkatan realisme bentuk dan keandalan fungsional media simulasi fisik berbanding lurus dengan peningkatan efektivitas pembelajaran praktik dan kesiapsiagaan personel pemadam kebakaran.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa prototipe mock-up engine pesawat berhasil dirancang dan dikembangkan sebagai media latihan simulasi penanggulangan kebakaran bagi personel PKP-PK di bandar udara. Prototipe ini berhasil mengatasi keterbatasan media latihan konvensional maupun kelemahan rancangan terdahulu melalui penerapan bodi silindris pelat besi tebal 1,2 mm menyerupai cowl engine pesawat, sistem pembakaran LPG bertekanan dengan spuyer nozzle burner terarah, selang berpelindung kawat spiral tahan panas, pemantik elektrik terintegrasi, serta kerangka portabel beroda. Hasil uji validasi oleh ahli materi menunjukkan bahwa prototipe memperoleh persentase kelayakan sebesar 90,7% yang berada pada kategori Sangat Layak, sehingga alat ini dinyatakan siap dan aman digunakan sebagai sarana latihan simulasi kebakaran engine pesawat dalam skala terbatas dan terkendali. Kebaruan (novelty) penelitian ini terwujud pada hadirnya media simulasi fisik portabel berkeselamatan tinggi yang mampu menghadirkan nyala api realistis tanpa emisi berlebih. Keterbatasan penelitian ini terletak pada pengujian yang masih terbatas pada skala prototipe terkendali serta belum dilengkapinya alat dengan sensor kebocoran gas otomatis berbasis sistem pintar. Untuk penelitian selanjutnya, direkomendasikan pengembangan fitur keamanan tambahan seperti sistem sensor kebocoran LPG, katup solenoid pemutus gas otomatis, blower pengatur aliran udara, serta pengujian kuantitatif terhadap peningkatan waktu tanggap (response time) dan kompetensi taktis personel PKP-PK secara langsung di lapangan.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Direktur Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M), Ketua Program Studi Diploma III Pertolongan Kecelakaan Pesawat, Dosen Pembimbing I Bapak Imam Sonhaji, S.Si.T., M.M., Dosen Pembimbing II Ibu Rahmawati Sukra, S.ST., MM, dan validator ahli materi, serta seluruh personel unit PKP-PK Bandara Internasional Yogyakarta yang telah memberikan arahan teknis, sarana fasilitas, dan dukungan penuh selama proses penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Berthiaume, M., Kinatader, M., Emond, B., Cooper, N., Obeegadoo, I., & Lapointe, J.-F. (2024). Evaluation of a virtual reality training tool for firefighters responding to transportation incidents with dangerous goods. *Education and Information Technologies*, 29(12), 14929–14967. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12357-5>
- Camburn, B., Viswanathan, V., Linsey, J., Anderson, D., Jensen, D., Crawford, R., Otto, K., & Wood, K. (2017). Design prototyping methods: State of the art in strategies, techniques, and guidelines. *Design Science*, 3, e13. <https://doi.org/10.1017/dsj.2017.10>
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2015). Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 14 Tahun 2015 tentang Standar Teknis dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 Volume IV Pelayanan Pertolongan

- Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK). Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2022). Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 30 Tahun 2022 tentang Standar Teknis dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 Volume IV Pelayanan Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK). Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Fakhreza, F. A. (2025). Rancangan Mock-Up Bahan Bakar Bertekanan Dalam Penguasaan Taktik dan Teknik Personel Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK) (Tugas Akhir). Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.
- ICAO. (2013). Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Volume I: Aerodrome Design and Operations (6th ed.). International Civil Aviation Organization.
- ICAO. (2014). Airport Services Manual (Doc 9137), Part 1: Rescue and Fire Fighting (4th ed.). International Civil Aviation Organization.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2021a). Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 87 Tahun 2021 tentang Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 69 tentang Lisensi, Rating, Pelatihan, dan Kecakapan Personel Navigasi Penerbangan. Kementerian Perhubungan RI.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2021b). Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 95 Tahun 2021 tentang Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 tentang Aerodrome. Kementerian Perhubungan RI.
- Koçali, K. (2023). Aircraft Rescue & Fire Fighting (ARFF) personnel training standards with the scope of High Reach Extendable Turret (HRET) system used in aircraft fire. *Journal of Aviation*, 7(1), 45–56.
- Lateef, F. (2010). Simulation-based learning: Just like the real thing. *Journal of Emergencies, Trauma, and Shock*, 3(4), 348–352. <https://doi.org/10.4103/0974-2700.70743>
- Mananda, F., Elida, E., Kasmita, K., & Irfan, D. (2024). Android-based learning media development with iSpring Suite application in pastry course. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 13(3), 273–284. <https://doi.org/10.21831/jpv.v13i3.66941>
- NFPA. (2017). NFPA 403: Standard for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Services at Airports (2018 ed.). National Fire Protection Association.
- Republik Indonesia. (2009). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 1.
- Setiyanto, B., R. H., & K. A. (2021). Program simulasi pemadaman kebakaran di lingkungan proyek. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Sidoluhur*, 1(1), 31–36.
- Simanjuntak, M. P., William Iskandar Ps, J. V., Baru, K., & Percut Sei Tuan, K. (2024). Effectiveness of guided discovery learning model assisted by web-based simulation to improve digital literacy and critical thinking abilities. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 13(2), 130–140. <https://doi.org/10.24114/jpf.v13i2.66866>
- Wiyono, A., & Krisna Pramundita, A. (2023). The application of contextual teaching and learning model using mockup media in Surabaya vocational high school. *International Journal of Vocational Education and Training Research*, 9(2), 50–58. <https://doi.org/10.11648/j.ijvetr.20230902.15>
- Wu, X., Liu, W., Jia, J., Zhang, X., Leifer, L., & Hu, S. (2023). Prototyping an online virtual simulation course platform for college students to learn creative thinking. *Systems*, 11(2), 89. <https://doi.org/10.3390/systems11020089>