JURNAL ILMIAH MANAJEMEN DAN KEWIRAUSAHAAN Vol 5 No 2 Oktober 2025 pp 519-533
p-ISSN : 2808-876X (print)
e-ISSN : 2798-1312 (online)
http://journal.politeknik-pratama.ac.id/index.php/IMK

ANALISIS PERFORMA FOAM PADA GUDANG PKP-PK DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL KUALANAMU

Ryan Khrisna[1*], Supri[2], Gilang Trio Putra[3]
[123] Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Jl. Raya PLP Curug, Serdang Wetan, Kec. Legok, Kabupaten Tangerang, Banten,
e-mail: rian76398@gmail.com [1], supri.supri@ppicurug.ac.id [2], gilang.trio@ppicurug.ac.id [3]

ARTICLE INFO

Article history:
Naskah masuk 15 Agustus 2025
Revisi 21 Agustus 2025
Diterima 30 Oktober 2025
Terbit 31 Oktober 2025

Keywords:
firefighting foam;
ARFF;
storage quality;
Kualanamu Airport;
aviation safety.

* *korespondensi* : rian76398@gmail.com
DOI : https://doi.org/10.51903/manajemen.v5i2.1327

ABSTRACT

This study aims to analyze the performance of firefighting foam stored in the ARFF warehouse at Kualanamu International Airport. Foam is the primary extinguishing agent used in airport firefighting operations, especially for incidents involving flammable liquids. A decline in foam quality can directly affect firefighting effectiveness. This research employs a qualitative approach, utilizing data collection techniques such as observation, in-depth interviews, and document analysis. The findings reveal that major factors contributing to foam degradation include unstable room temperatures, direct exposure to sunlight, and improper storage practices, such as mixing foam with other equipment. Additionally, budget constraints remain a key obstacle to constructing a dedicated foam storage facility. These results highlight the importance of proper foam storage in compliance with regulations and the need for adequate infrastructure to maintain foam effectiveness in emergency situations.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa foam pemadam kebakaran yang disimpan di gudang PKP-PK Bandar Udara Internasional Kualanamu. Foam merupakan media utama dalam operasi pemadaman kebakaran di bandara, khususnya untuk insiden yang melibatkan bahan bakar cair. Penurunan kualitas foam dapat berdampak langsung pada efektivitas penanganan kebakaran. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan teknik pengumpulan data melalui observasi, wawancara mendalam, dan studi dokumentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa faktor utama yang menyebabkan penurunan performa foam adalah suhu ruangan yang tidak stabil, paparan sinar matahari langsung, serta penyimpanan yang tidak sesuai standar seperti pencampuran dengan peralatan lain. Selain itu, kendala anggaran juga menjadi hambatan utama dalam pembangunan gudang penyimpanan khusus. Temuan ini menekankan pentingnya penyimpanan foam yang sesuai dengan regulasi serta perlunya dukungan infrastruktur untuk menjaga efektivitas foam dalam kondisi darurat.

Kata Kunci: foam pemadam, PKP-PK, kualitas penyimpanan, bandara kualanamu keselamatan penerbangan.

p-ISSN : 2808-876X e-ISSN : 2798-1312

1. PENDAHULUAN

Transportasi udara memiliki peran vital dalam mempermudah mobilitas masyarakat, memungkinkan perpindahan cepat antarwilayah untuk berbagai kebutuhan seperti pekerjaan, pendidikan, dan aktivitas harian. Sistem transportasi yang terorganisir dengan baik tidak hanya meningkatkan efisiensi mobilitas, tetapi juga mendorong pertumbuhan ekonomi serta memperkuat keterhubungan antar daerah, sehingga kehidupan masyarakat menjadi lebih dinamis dan terintegrasi (Karmini, 2023).

Namun, peningkatan volume operasional dan lalu lintas udara di bandara juga diiringi dengan meningkatnya risiko kecelakaan. Hal ini menuntut adanya pengawasan ketat, pelatihan berkelanjutan, serta peningkatan pengetahuan terkait keselamatan penerbangan. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 21 Tahun 2015, keselamatan penerbangan mencakup pemenuhan seluruh persyaratan dalam pemanfaatan wilayah udara, pengoperasian pesawat, bandar udara, angkutan udara, navigasi penerbangan, dan fasilitas pendukung lainnya. Standar ini bersifat wajib dan harus diterapkan secara menyeluruh, sesuai regulasi internasional yang ditetapkan oleh ICAO, demi memastikan penerbangan yang aman, nyaman, dan selamat (Susanto & Keke, 2020).

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009, bandar udara merupakan kawasan yang digunakan untuk mendarat dan lepas landasnya pesawat, naik turun penumpang, bongkar muat barang, serta menjadi pusat perpindahan antarmoda transportasi. Bandara dilengkapi dengan fasilitas keselamatan, keamanan, serta fasilitas pokok dan penunjang lainnya. Dalam kaitannya dengan keselamatan, Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara (KP 002 Tahun 2012) mewajibkan setiap bandar udara memiliki organisasi Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK). Tim ini bertugas memberikan respons cepat dalam keadaan darurat, seperti kebakaran pesawat atau insiden di bandara, dengan fokus mencegah, mengendalikan, dan memadamkan api, serta melindungi manusia dan aset dari bahaya kebakaran (PR 30 Tahun 2022).

Dalam pelaksanaan tugasnya, personel PKP-PK memerlukan media pemadam yang efektif, salah satunya adalah foam (busa pemadam). Foam digunakan terutama untuk kebakaran kelas B yang disebabkan oleh cairan mudah terbakar seperti bensin, minyak, atau bahan kimia (Wilastari & Wibowo, 2021). Di Bandara Internasional Kualanamu, fasilitas PKP-PK dilengkapi bahan pemadam utama seperti air dan foam, serta bahan pelengkap seperti karbon dioksida, dry chemical powder, dan bahan pemadam lain sesuai perkembangan teknologi.

Namun, efektivitas foam dapat menurun akibat faktor lingkungan. Penelitian Ivana et al. (2012) menunjukkan bahwa paparan lingkungan ekstrem, baik melalui air maupun udara, dapat mempercepat degradasi bahan aktif dalam foam. Sementara itu, penelitian Zhou et al. (2024) mengungkap bahwa paparan panas melalui konduksi dan radiasi dapat mempercepat penguapan air dalam struktur foam, memicu pecahnya gelembung udara pembentuknya, sehingga foam menjadi tidak stabil dan daya tahannya terhadap api menurun.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian mengenai performa foam di Bandara Internasional Kualanamu menjadi penting. Hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan kapasitas kesiapsiagaan personel PKP-PK dalam menghadapi kondisi darurat, sehingga keselamatan jiwa dan aset di lingkungan bandara dapat terjaga dengan optimal..

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Analisis

Analisis merupakan proses berpikir yang dilakukan untuk memecah suatu keseluruhan menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, dengan tujuan memahami ciri khas dari masing-masing komponen, mengetahui hubungan antarbagian, serta memahami bagaimana peran tiap elemen tersebut dalam membentuk satu kesatuan yang utuh. Melalui proses ini, seseorang dapat menelaah suatu sistem atau permasalahan secara lebih mendalam, sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi akar persoalan dan menemukan solusi yang tepat berdasarkan struktur penyusunnya (Septiani et al., 2020). Menurut (Onsu et al., 2019) Analisis adalah proses pengkajian mendalam terhadap suatu peristiwa, tindakan, atau karya dengan tujuan menemukan fakta yang tepat, termasuk mengetahui asal-usul, penyebab, dan berbagai faktor yang memengaruhinya. Proses ini membantu memahami konteks secara menyeluruh dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat.

p-ISSN : 2808-876X e-ISSN : 2798-1312

2.2. Performa

Performa merupakan hasil yang dievaluasi secara berkala, mencakup aspek kualitas dan kuantitas, sesuai dengan target, standar, serta kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Dengan kata lain, Performa mencerminkan kemampuan dalam mencapai hasil tertentu berdasarkan ukuran-ukuran yang telah dirumuskan sebagai tolak ukur pencapaian yang objektif dan terukur (Sinaga, 2020).

2.3. Foam Pemadam

2.3.1. Pengertian *Foam* Pemadam

Menurut NFPA 11 Tahun 2021 (NFPA, 2021), *foam* atau busa pemadam kebakaran adalah material pemadam yang terdiri dari gelembung-gelembung kecil yang terbentuk melalui pencampuran air, *foam* konsentrat, dan udara atau gas. Campuran ini menghasilkan busa dengan massa yang lebih rendah dibandingkan cairan mudah terbakar seperti minyak, bensin, atau bahan kimia lainnya, sehingga *foam* dapat mengapung dan menyebar di atas permukaan cairan tersebut. Fungsi utama *foam* adalah untuk memadamkan api dengan membentuk lapisan pelindung yang menutupi permukaan bahan bakar, sehingga memisahkannya dari oksigen di udara dan menghentikan pelepasan uap yang dapat memicu kembali nyala api. Selain itu, *foam* juga berfungsi sebagai pendingin terhadap permukaan bahan bakar yang terbakar, membantu menurunkan suhu dan mempercepat proses pemadaman. Dengan sifatnya yang mampu mengendalikan penyebaran uap dan panas, *foam* sangat efektif digunakan dalam pemadaman kebakaran kelas B, khususnya kebakaran cairan mudah terbakar.

Busa pemadam kebakaran adalah dispersi gelembung gas dalam larutan yang mengandung surfaktan, pelarut organik, penstabil busa, dan inhibitor korosi. Busa pemadam ini digunakan untuk mengendalikan dan memadamkan kebakaran yang disebabkan oleh cairan mudah terbakar. Selain itu, busa juga dapat digunakan untuk mencegah penyalaan cairan mudah terbakar dan menghambat penyalaan kembali, serta dalam kondisi tertentu dapat memadamkan kebakaran yang berasal dari bahan padat yang mudah terbakar. Busa pemadam dihasilkan dengan mencampurkan konsentrat busa dengan air untuk membuat larutan busa, kemudian busa dibentuk melalui alat penyemprot khusus.(Rakowska, 2018)

2.3.2. Jenis-jenis Foam Pemadam

Pada NFPA 11 Tahun 2021 menjelaskan bahwa *foam* mempunyai beberapa jenis, masing-masing dengan karakteristik khusus dan aplikasi yang disesuaikan dengan jenis bahan bakar yang terbakar. Jenis-jenis *foam* tersebut meliputi:

a. *Alcohol Resistant Foam*
   "Suatu konsentrat yang digunakan untuk memadamkan kebakaran pada bahan yang larut dalam air dan bahan bakar lain yang merusak terhadap busa biasa seperti AFFF, SFFF, atau FFFP, serta untuk kebakaran yang melibatkan bahan bakar hidrokarbon."

b. *Aqueous Film Forming Foam* (AFFF)
   "Sebuah konsentrat yang berbasis surfaktan berfluorinasi serta penstabil busa, yang berfungsi membentuk lapisan film berbasis air untuk menekan uap bahan bakar hidrokarbon, dan biasanya diencerkan dengan air menjadi larutan 1 persen, 3 persen, atau 6 persen."

c. *Film Forming Fluoroprotein Foam* (FFFP)
   "Konsentrat busa protein yang menggunakan surfaktan berfluorinasi untuk membentuk lapisan film berbasis air guna menekan uap bahan bakar hidrokarbon."

d. *Film Forming Foam*
   "Konsentrat yang ketika dicampur pada konsentrasi penggunaan nominalnya akan membentuk lapisan film berair di atas bahan bakar hidrokarbon."

e. *Fluoroprotein Foam*
   "Sebuah konsentrat yang sangat mirip dengan konsentrat *foam* berbahan dasar protein, tetapi dengan tambahan zat aditif surfaktan sintetis yang mengandung *fluor*."

p-ISSN : 2808-876X e-ISSN : 2798-1312

f. *Medium-and High Expansion Foam*
"Sebuah konsentrat, biasanya berasal dari surfaktan hidrokarbon, yang digunakan dalam peralatan khusus untuk menghasilkan busa dengan rasio volume busa terhadap larutan sebesar 20:1 hingga sekitar 1000:1."

g. *Protein Foam*
"Konsentrat yang terdiri terutama dari produk-produk hidrolisat protein, ditambah dengan bahan tambahan penstabil dan inhibitor untuk melindungi dari pembekuan, mencegah korosi peralatan dan wadah, menahan dekomposisi bakteri, mengendalikan viskositas, dan untuk memastikan kesiapan penggunaan dalam kondisi darurat."

h. *Synthetic Fluorine Free Foam* (SFFF)
"Konsentrat busa yang berbasis campuran agen aktif permukaan hidrokarbon yang tidak diformulasikan untuk mengandung *polifluoroalkil* (PFAS)."

i. *Synthetic Foam*
"Konsentrat yang berbasis agen pembentuk busa selain protein terhidrolisis dan mencakup konsentrat busa pembentuk film berair (AFFF), konsentrat busa ekspansi sedang dan tinggi, serta konsentrat busa sintetis lainnya."

j. *Other Synthetic Foam*
"Konsentrat yang berbasis agen permukaan hidrokarbon dan terdaftar sebagai agen basah, agen pembentuk busa, atau keduanya."

2.4. Gudang

Gudang adalah tempat untuk menyimpan berbagai barang, seperti bahan baku, suku cadang, dan stok lainnya, yang dibutuhkan agar kegiatan perusahaan bisa berjalan lancar. Perannya sangat penting dalam memastikan barang selalu tersedia saat dibutuhkan. Ukuran gudang bukan satu-satunya penentu kualitasnya. Bahkan gudang yang kecil pun bisa bekerja secara maksimal jika memiliki sistem pengaturan ruang yang baik. Dengan tata letak yang efisien, gudang bisa menampung lebih banyak barang tanpa harus memperluas bangunannya. Saat merancang dan mengatur gudang, penting untuk memperhatikan dua hal utama: efektivitas dan efisiensi. Efektivitas berarti mudah dan cepat dalam mengambil atau menyimpan barang, sementara efisiensi berarti memanfaatkan ruang sebaik mungkin agar tidak ada yang terbuang sia-sia. Salah satu cara untuk mencapai ini adalah dengan menyusun barang berdasarkan seberapa sering digunakan, ukurannya, atau jenisnya. Jika barang disusun dengan rapi dan terorganisir, maka ruang akan terpakai secara optimal, proses kerja makin lancar, risiko kehilangan atau kerusakan barang berkurang, dan produktivitas gudang pun meningkat (Fadhilah et al., 2022).

Di unit PKP-PK, kebutuhan akan gudang khusus untuk menyimpan bahan pemadam *foam* sebenarnya cukup mendesak dan tidak bisa diabaikan. Selama ini, bahan *foam* masih disimpan bersama dengan peralatan lain dalam satu ruangan yang belum memenuhi standar penyimpanan ideal, baik dari segi suhu, ventilasi, maupun keamanan bahan kimia. Kondisi ini berisiko besar terhadap penurunan kualitas *foam*, seperti terjadinya kontaminasi silang, penguapan bahan aktif, hingga degradasi akibat suhu yang tidak stabil. Jika dibiarkan, hal ini dapat berdampak langsung pada efektivitas *foam* dalam proses pemadaman kebakaran, yang tentunya membahayakan keselamatan personel dan memperlambat respons darurat di lapangan. Menurut NFPA 11 Tahun 2021, untuk penyimpanan bahan pemadam *foam* dijelaskan bahwa:

a. Setiap jenis *foam* konsentrat harus disimpan secara terpisah dan tidak boleh dicampur dengan barang dan bahan lain dalam penyimpanan (p. 4.4.1.1).
b. *Foam* konsentrat dengan jenis yang sama namun berasal dari merek berbeda tidak diperkenankan untuk dicampur, kecuali apabila terdapat data yang valid yang menunjukkan bahwa kedua konsentrat tersebut bersifat kompatibel (p. 4.4.1.2).
c. *Foam* konsentrat wajib disimpan dalam batasan suhu yang telah ditetapkan oleh produsennya (p. 8.3.4)
d. Tangki yang digunakan untuk menyimpan *foam* harus terbuat dari material tahan korosi dan kompatibel dengan *foam* konsentrat yang disimpan. (p. 8.3.3.1)
e. Label pada tangki penyimpanan *foam* konsentrat wajib memuat informasi mengenai produsen, tipe *foam*, serta volume atau jumlah konsentrat yang tersedia. (p. 11.11.8)

p-ISSN : 2808-876X e-ISSN : 2798-1312

2.5. Peran Foam dalam Operasi PKP-PK

Foam atau busa pemadam merupakan salah satu agen pemadam utama yang digunakan dalam operasi PKP-PK, terutama dalam menangani kebakaran akibat tumpahan bahan bakar penerbangan yang termasuk dalam klasifikasi kebakaran kelas B. *Foam* berfungsi membentuk lapisan penutup pada permukaan bahan bakar yang terbakar, sehingga dapat memutuskan suplai oksigen dan mencegah penguapan bahan bakar, yang pada akhirnya memadamkan api dan mencegah kebakaran ulang (reignition) (IFSTA, 2013).

Menurut (Khanna, 2001) *foam* bekerja dengan tiga mekanisme utama: pendinginan, penyekatan udara, dan penghalangan penguapan bahan bakar. Dalam konteks operasi PKP-PK, kemampuan *foam* untuk membentuk lapisan stabil sangat penting untuk mempercepat proses evakuasi penumpang dan memberikan perlindungan terhadap personel penyelamat dari paparan panas berlebih.

(Angle, 2014) menyatakan bahwa dalam kebakaran pesawat, khususnya yang melibatkan bahan bakar Jet A-1, penggunaan *foam* dengan ekspansi rendah hingga sedang sangat efektif karena memiliki daya jangkau semprotan yang tinggi serta kestabilan busa yang baik dalam kondisi terbuka dan terkena angin. Hal ini membuat *foam* menjadi pilihan utama dalam tahap awal pemadaman kebakaran pesawat di landasan.

(DeHaan & Icove, 2011) juga menegaskan bahwa dalam skenario kecelakaan pesawat, *foam* harus segera diaplikasikan untuk menciptakan zona aman *(safety corridor)* yang memungkinkan kru penyelamat menjangkau korban dengan aman. Kecepatan penempatan busa pemadam ini berkorelasi langsung dengan peluang keselamatan penumpang dan integritas struktur pesawat selama evakuasi.

2.6. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kualitas Foam

Efektivitas *foam* sangat bergantung pada sejumlah faktor teknis dan lingkungan yang harus diperhatikan secara ketat untuk memastikan keberhasilan operasi pemadaman dalam situasi darurat penerbangan.

a. Faktor pertama yang mempengaruhi kualitas *foam* adalah jenis dan konsentrasi *foam* concentrate (konsentrat busa) yang digunakan. Konsentrat yang digunakan umumnya terdiri dari Aqueous Film Forming *Foam* (AFFF), *Alcohol Resistant* AFFF (AR-AFFF), atau *Fluorine-Free Foam* (F3). Setiap jenis memiliki karakteristik khusus, dan pencampurannya harus sesuai spesifikasi standar seperti NFPA 403 dan ICAO Annex 14. Ketidaksesuaian dalam konsentrasi dapat menyebabkan penurunan kemampuan membentuk film yang efektif untuk menutup permukaan bahan bakar (ICAO, 2020).
b. Faktor kedua adalah proses pencampuran air dengan *foam* concentrate, yang dikenal dengan istilah proportioning. Proses ini harus dilakukan dengan presisi, biasanya dalam rasio 3% atau 6% tergantung jenis konsentrat. Sistem proportioner yang rusak atau tidak dikalibrasi dengan baik dapat menghasilkan campuran yang terlalu encer atau terlalu kental, sehingga mempengaruhi daya sebar, stabilitas, dan ketahanan *foam* terhadap panas (NFPA, 2022).
c. Selanjutnya, kualitas air yang digunakan dalam pencampuran *foam* juga menjadi faktor penting. Air dengan tingkat kesadahan tinggi (mengandung kalsium dan magnesium berlebih) dapat menurunkan efektivitas pencampuran *foam* concentrate dengan air, sehingga menghasilkan busa yang tidak stabil dan mudah pecah. Oleh karena itu, penggunaan air bersih yang telah memenuhi standar pH dan TDS (Total Dissolved Solids) sangat disarankan dalam sistem *foam* PKP-PK (Jaya, 2021).
d. Faktor keempat adalah tekanan dan debit air pada nozzle atau sistem pancaran. Kualitas *foam* sangat dipengaruhi oleh tekanan optimal dalam sistem distribusi. Tekanan yang terlalu rendah akan menghasilkan busa yang tidak berkembang sempurna, sedangkan tekanan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur *foam*, mengurangi efektivitas isolasi termalnya (FAA, 2019).

Selain itu, kondisi dan desain nozzle pemancar turut mempengaruhi kualitas *foam*. Jenis nozzle seperti aspirating *foam* nozzle atau non-aspirating nozzle akan memberikan hasil *foam* yang berbeda dalam hal ekspansi dan drain time. Pemilihan jenis nozzle yang sesuai dengan jenis konsentrat dan skenario kebakaran menjadi sangat penting untuk memastikan performa *foam* yang optimal (Sutrisno, 2020).

Faktor lingkungan juga memainkan peran signifikan, terutama suhu udara dan kelembaban. *Foam* yang digunakan pada suhu ekstrem dapat mengalami degradasi lebih cepat. Udara panas dapat mempercepat penguapan air dalam *foam*, sedangkan suhu dingin dapat menghambat proses pembentukan *foam* yang sempurna. Oleh karena itu, kondisi iklim setempat perlu diperhitungkan dalam pengujian dan penyimpanan *foam* concentrate (Rahman & Yusuf, 2022).

p-ISSN : 2808-876X e-ISSN : 2798-1312

2.7. Pengujian Foam

Berdasarkan (KP 605, 2015), Peraturan Direktur Jendral Perhubungan Udara Nomor KP 605 Tahun 2015 tentang prosedur dan tata cara pengujian bahan pemadam, Pasal 11 (1) Pemeriksaan dan pengujian bahan pemadam pada kendaraan utama PKP-PK sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (1) huruf b, dilakukan dengan parameter meliputi:

a. Parameter wajib.
b. Parameter mrekomendasi.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain kualitatif deskriptif dengan strategi studi kasus untuk menganalisis performa foam pemadam kebakaran di gudang PKP-PK Bandar Udara Internasional Kualanamu. Fokus penelitian adalah mengevaluasi karakteristik, efektivitas, dan kesesuaian foam dengan standar internasional ICAO Annex 14 Volume I dan NFPA 11. Data dikumpulkan melalui wawancara, observasi langsung, dan studi dokumentasi.

Populasi penelitian mencakup seluruh personel yang terlibat dalam pengelolaan dan penggunaan foam, serta dokumen terkait. Sampel dipilih secara purposive sampling meliputi Kepala Seksi Operasional PKP-PK dan petugas gudang foam yang memahami teknis pengelolaan. Objek penelitian adalah kinerja foam dalam kesiapan operasional, efektivitas pemadaman, dan kepatuhan terhadap standar teknis.

Pengumpulan data dilakukan dengan Observasi partisipatif untuk melihat kondisi penyimpanan, pemeliharaan, dan prosedur penggunaan foam termasuk saat simulasi kebakaran. Wawancara dengan tiga personel PKP-PK (Rico Maulana, Rahmat Setia Lanri, dan Juanda) yang terlibat langsung dalam operasional. Studi dokumentasi terhadap laporan pemeliharaan, inspeksi, sertifikat, dan catatan penggunaan foam. Analisis data menggunakan metode Gap Analysis untuk membandingkan kondisi aktual foam dengan kondisi ideal sesuai standar, sehingga dapat diidentifikasi kesenjangan dan dirumuskan perbaikan.

Lokasi penelitian berada di gudang PKP-PK Bandara Internasional Kualanamu, Deli Serdang, Sumatera Utara, yang dipilih karena tingginya aktivitas dan pentingnya peran foam dalam pemadaman. Penelitian juga dilatarbelakangi indikasi penurunan kualitas foam meski masa pakainya masih baru. Penelitian berlangsung sesuai jadwal yang mencakup tahap penentuan judul hingga penyelesaian tugas akhir, dari September hingga Juli..

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Deskripsi Lokasi Penelitian

Penelitian yang berjudul Analisis Performa *Foam* Pada Gudang PKP-PK di Bandar Udara Internasional Kualanamu, terletak di Kecamatan Beringin, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Bandara ini mulai beroperasi sejak 25 Juli 2013 menggantikan bandara Internasional Polonia sebelumnya karena meningkatnya permintaan perjalanan udara dan keterbatasan bandara Polonia. Pada Desember 2021, Angkasa Pura II, BUMN operator bandara di Indonesia, menjalin kemitraan strategis dengan GMR Airports Netherlands B.V. melalui Angkasa Pura Aviasi untuk pengembangan Bandara Internasional Kualanamu.

Gambar 4. 1 Bandara Internasional Kualanamu



Sumber. PT. Angkasa Pura Aviasi

p-ISSN : 2808-876X e-ISSN : 2798-1312

Salah satu tujuan utama Bandara Internasional Kualanamu adalah menjadikan dirinya sebagai bandara hub penting, memfasilitasi peningkatan konektivitas dan berfungsi sebagai pintu gerbang internasional barat ke Indonesia. Lokasi strategis bandara dan infrastruktur yang berkembang dengan baik menjadikannya pusat penting bagi para pelancong, baik domestik maupun internasional.

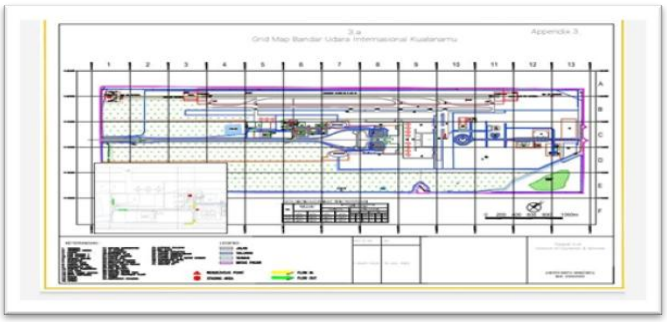
Tabel 1 Data Umum Bandara Udara Internasional Kualanamu

Nama Bandar Udara	Bandar Udara Internasional Kualanamu
Indikator Lokasi	WIMM (ICAO) / KNO (IATA)
Lokasi ARP	3.38.17.95LU/98.52.38.99BT
Azimuth	03°38'32"N 098°53'07"E
Elevasi (*min*)	+ 4 m dpl
Elevasi	RWY 05=6,960 meter (22, 834 feet) AMSL; RWY 23=6,095 meter (19,996 feet) AMSL
Angin (*wind*)	BL-BD (5-10 knots)
Runway Penadaan Dimensi Kekuatan Konstruksi Permukaan	 05 / 23 3750 x 60 m2 PCN 71 F/B/W/T Aspal Hotmix Aspal
LDA *(Landing Distance Availabel)* *Runway 05* *Runway 23*	 3750 m 3750 m
TORA (*Take-off Run Availabel*) Runway 05 Runway 23	 3995 m 3995 m
RESA (*Runway End Safety Area*) Runway 05 Runway 23	 180 m x 120 m 180 m x 120 m
Stopway Runway 05 Runway 23	 60 m x 60 m 60 m x 60 m
Clearway Runway 05 Runway 23	 300 m x 150 m 300 m x 150 m
Taxiway	A sampai H
Apron Total Area Parking Stan Konstruksi Kekuatan	 266700 m^2 35 Beton/*Rigid* PCN 111 R/C/W/T
Penerangan *(Lighting)*	
Runway Light	Tersedia
Taxiway Light	Tersedia
Approach Light	Tersedia

p-ISSN : 2808-876X e-ISSN : 2798-1312

Obsturction Light	Tersedia
Landing Light	Tersedia
Rotating Beacon Light	Tersedia

Sumber. PT. Angkasa Pura Aviasi



Gambar 1 Grid Map Bandara Internasional Kualanamu
Sumber. PT. Angkasa Pura Aviasi

Selama melakukan penelitian, penulis melaksanakan observasi dan pengumpulan data pada Bandar Udara Internasional Kualanamu Deli Serdang, khususnya pada unit PKP-PK yang terpusat di gedung *Fire Station*. Disini penulis menemukan fenomena bahwa sangat perlu untuk menganalisis kompetensi personel PKP-PK agar sesuai dengan peraturan yang dipersyaratkan.

4.2. Hasil Observasi

Berdasarkan observasi langsung yang dilakukan oleh penulis selama di Unit PKP-PK Bandar Udara Internasional Kualnamu Deli Serdang, terdapat ketidaksesuaian antara peletakan *foam* yang tercampur dengan barang lain yang mendukung penulis melakukan analisis performa *foam* yang ada di gudang PKP-PK Bandar Udara Internasional Kualanamu dengan diantaranya:



Gambar 2 Kondisi penyimpanan *foam* di gudang penunjang
(Dokumentasi Penulis, Tahun 2025)

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa penyimpanan *foam* di gudang penunjang tidak tertata dengan baik karena drum *foam* digunakan sebagai tempat tumpukan peralatan seperti tali, sepatu, dan pakaian pelindung. Kondisi ini bisa menyebabkan kerusakan pada drum, kontaminasi *foam*, dan menyulitkan pengambilan saat keadaan darurat. Penataan yang tidak sesuai tersebut dapat menurunkan kualitas dan efektivitas *foam* sebagai bahan pemadam kebakaran.

p-ISSN : 2808-876X e-ISSN : 2798-1312



Gambar 3 Kondisi penyimpanan *foam* di gudang APAR
(Dokumentasi Penulis, Tahun 2025)

Berdasarkan Gambar 3 Gambar menunjukkan bahwa penyimpanan *foam* di gudang APAR tidak rapi dan kurang aman. Drum *foam* dicampur dengan alat lain dan ditumpuk sembarangan, sehingga sulit diakses saat darurat. Ruangan juga kurang ventilasi dan tidak ada label yang jelas. Kondisi ini bisa membuat kualitas *foam* menurun dan berisiko saat digunakan.

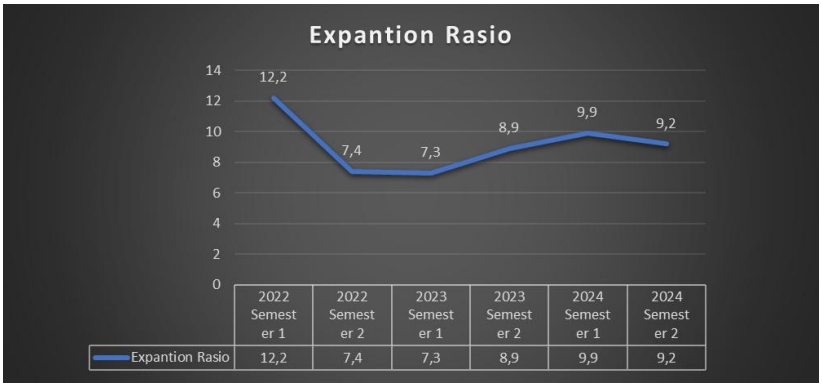


Gambar 4 Hasil Dokumentasi
Pengujian *Foam*(Dokumentasi Penulis, Tahun 2025)

Gambar di atas menunjukkan proses pengujian *foam* yang dilakukan secara menyeluruh menggunakan beberapa alat ukur. Terlihat pengujian dilakukan untuk mengukur indeks bias *(refractive index)* menggunakan alat digital refraktometer, tingkat keasaman *(pH)* menggunakan alat ukur *pH* meter digital berwarna kuning, dan berat serta volume *foam* menggunakan gelas ukur dan timbangan digital. *Foam* dimasukkan ke dalam alat ukur dan diuji secara bertahap, kemungkinan besar untuk menilai kualitas fisik dan kimianya. Proses ini dilakukan oleh petugas di *fire station* secara teliti, untuk memastikan bahwa *foam* yang digunakan masih layak dan memenuhi standar pemadaman kebakaran. Dari rangkaian foto ini bisa disimpulkan bahwa pengujian *foam* dilakukan dengan prosedur yang terstandar dan alat yang memadai. Dari hasil pengujian *foam* yang di jabarkan penulis :

p-ISSN : 2808-876X e-ISSN : 2798-1312

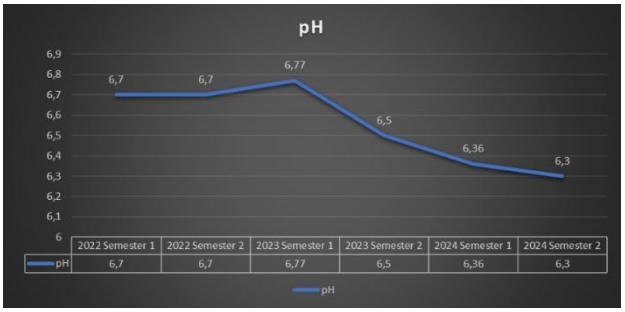
a. **Pengujian Expantion Rasio**



Gambar 5 HasilPengujian Expantion Rasio

Grafik menunjukkan perubahan nilai expantion ratio dari tahun 2022 hingga 2024. Pada semester 1 tahun 2022, nilai tertinggi tercatat sebesar 12,2. Namun, nilai ini turun drastis menjadi 7,4 di semester 2, dan terus menurun menjadi 7,3 pada semester 1 tahun 2023. Setelah itu, terjadi peningkatan menjadi 8,9 di semester 2 tahun 2023 dan mencapai 9,9 pada semester 1 tahun 2024. Di semester 2 tahun 2024, nilai kembali sedikit menurun menjadi 9,2.

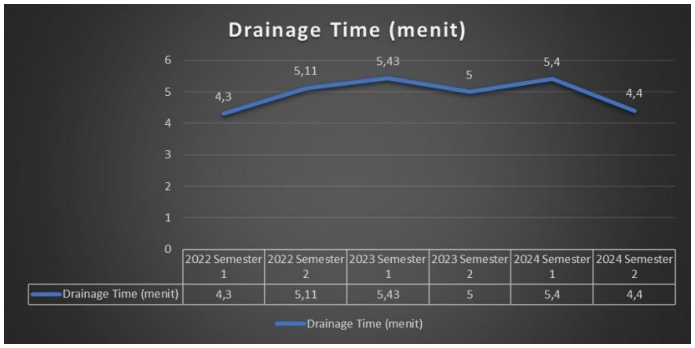
b. **Pengujian Drainage Time**



Gambar 6 Hasil Pengujian Drainage Time

Grafik menunjukkan waktu pengeringan *foam* dari tahun 2022 hingga 2024. Pada semester 1 tahun 2022, waktu pengeringan tercatat 4,3 menit, lalu meningkat menjadi 5,11 menit di semester 2. Di semester 1 tahun 2023, waktu pengeringan naik lagi menjadi 5,43 menit, lalu sedikit turun menjadi 5 menit di semester 2. Pada tahun 2024 semester 1, waktu pengeringan naik ke 5,4 menit, namun menurun lagi menjadi 4,4 menit di semester 2. Secara umum, waktu pengeringan *foam* mengalami naik turun selama periode tersebut.

c. **Pengujian pH**

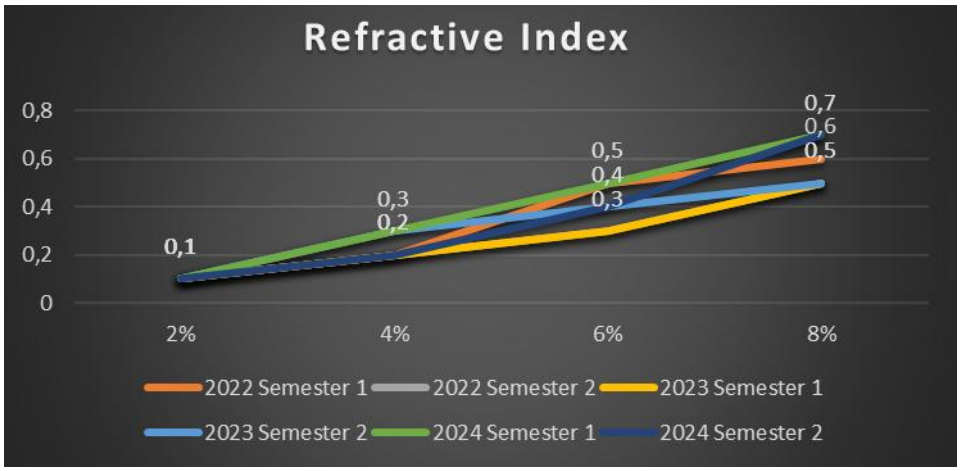


Gambar 7 Hasil Pengujian pH

p-ISSN : 2808-876X e-ISSN : 2798-1312

Grafik menunjukkan perubahan nilai pH *foam* dari tahun 2022 hingga 2024. Pada semester 1 dan 2 tahun 2022, nilai pH tetap stabil di angka 6,7. Kemudian meningkat sedikit menjadi 6,77 pada semester 1 tahun 2023. Setelah itu, nilai pH mulai menurun secara bertahap: menjadi 6,5 di semester 2 tahun 2023, lalu 6,36 di semester 1 tahun 2024, dan akhirnya turun ke 6,3 di semester 2 tahun 2024. Penurunan ini bisa menunjukkan bahwa kualitas *foam* mulai menurun karena sistem penyimpanan

d. **Pengujian Refractive Indeks**



Gambar 8 Hasil Pengujian
Refractive Index

Grafik menunjukkan perubahan nilai *refractive index foam* pada konsentrasi 2%, 4%, 6%, dan 8% dari tahun 2022 hingga 2024. Secara umum, semakin tinggi konsentrasi, semakin besar pula nilai *refractive index*-nya. Pada tahun 2024 semester 1, *foam* menunjukkan nilai tertinggi, yaitu mencapai 0,7 pada konsentrasi 8%. Sebaliknya, nilai terendah terlihat pada tahun 2022 semester 1, yaitu hanya 0,1 pada konsentrasi 2%. Grafik ini menunjukkan bahwa kualitas optik *foam* cenderung meningkat di tahun 2024, dibandingkan tahun-tahun sebelumnya.

4.3. Hasil Wawancara

Berikut dapat digambarkan oleh penulis hasil dari wawancara dengan narasumber yang dapat memberikan informasi berdasarkan kondisi di lapangan yang sesungguhnya. Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan pewawancara kepada narasumber terkait performa *foam,* penulis mencantumkan beberapa poin pertanyaan kepada narasumber. Dari beberapa poin pertanyaan ini bertujuan untuk menggambarkan inti dalam dialog wawancara ini. Berikut merupakan poin pertanyaan yang diajukan kepada narasumber, diantaranya :

a. Kondisi Performa *Foam*

Pertanyaan ini diajukan untuk mengetahui sejauh mana kualitas dari performa *foam* pada gudang penyimpanan PKP-PK di Bandar Udara Internasional Kualanamu telah memenuhi standar kualitas *foam*. Dikarenakan *foam* merupakan bahan pemadam utama unit PKP-PK menjadi dasar utama dalam memadamkan api saat menghadapi situasi darurat penerbangan.

Tabel 2. Hasil Wawancara Performa *Foam*

No	Nama	Jabatan	Pertanyaan	Pernyataan
1.	Rico	Personel *Exercise and Facility*	1.Bagaimana Bapak melihat kualitas *foam* konsentrat yang saat ini disimpan di gudang PKP-PK?	1.Secara umum, kualitas *foam* yang kami simpan di gudang masih tergolong baik. Hal ini bisa dilihat dari hasil uji laboratorium yang dilakukan oleh unit RF-QC pada tahun 2024 dan 2025. Meski ada sedikit penurunan, tapi tidak signifikan. Penurunan warna terjadi pada *foam* yang ada di gudang penyimpanan, kemungkinan karena kontaminasi dari peralatan yang ada di sekitar gudang.
			2.Apakah penurunan	

p-ISSN : 2808-876X e-ISSN : 2798-1312

			ini bisa berdampak langsung pada efektivitas *foam*?	2. Ya, tentu saja. Kalau penurunan performa terjadi, pasti akan berpengaruh terhadap efektivitas *foam* dalam pemadaman api.
2.	Rahmat	Personel *Exercise and Facility*		1. Menurut saya, kualitas *foam* saat ini kurang layak, terutama karena tempat penyimpanan yang tidak sesuai. Seharusnya *foam* disimpan di tempat khusus, bukan digabung dengan peralatan lain. 2.Menurut saya, Berdampak dan tidak efektif untuk di gunakan
3.	Juanda	Personel *Aircraft*		1.Terus terang, saya melihat kualitasnya sudah kurang baik. Banyak faktor yang memengaruhi, dan saya rasa itu berdampak langsung. *Foam* yang kualitasnya menurun tidak akan mampu membentuk busa yang sempurna, sehingga tidak efektif untuk pemadaman.

b. Faktor Penyebab Kualitas Penurunan Foam

Pertanyaan ini dipilih karena penting untuk mengetahui apa saja yang menyebabkan penurunan kualitas *foam* selama penyimpanan. *Foam* yang tidak disimpan dengan baik dapat kehilangan efektivitasnya dalam memadamkan kebakaran. Dengan memahami faktor penyebab seperti suhu, ventilasi, dan kontaminasi, maka dapat disusun solusi yang tepat untuk menjaga mutu *foam* di gudang PKP-PK.

Tabel 3 Hasil Wawancara Penuruna *Foam*

No.	Nama	Jabatan	Pertanyaan	Pernyataan
1	Rico	Personel *Exercise and Facility*	Menurut Bapak, apa saja penyebab utama menurunnya kualitas *foam*?	Ada tiga faktor utama. Pertama, suhu ruangan yang tidak stabil karena AC di gudang tidak berfungsi maksimal. Kedua, paparan sinar matahari langsung terhadap beberapa drum. Dan ketiga, adanya kontaminasi dari alat atau bahan lain yang disimpan di lokasi yang sama.
2	Rahmat	Personel *Exercise and Facility*		Yang paling sering itu kontaminasi bisa dari air, minyak, atau padatan. Lalu, perubahan suhu yang ekstrem dan penyimpanan yang bercampur dengan peralatan lain. Itu semua mempercepat penurunan kualitas *foam*. Saya perhatikan gudangnya juga panas, sirkulasi udara dan pencahayaannya kurang.
3	Juanda	Personel *Aircraft*		Suhu gudang cukup panas dan ventilasi kurang. Penyimpanan *foam* pun masih bercampur dengan peralatan lain, dan itu sangat memengaruhi kualitas *foam* yang disimpan.

c. Prosedur dan Penyimpanan Foam

Pertanyaan ini dipilih untuk mengetahui apakah penyimpanan *foam* sudah sesuai dengan standar dan bagaimana langkah yang diambil jika kualitasnya menurun. Hal ini penting agar penanganan *foam* tetap efektif dan tidak membahayakan operasional pemadaman kebakaran.

Tabel 4 Hasil Wawancara Penyimpanan *Foam*

No.	Nama	Jabatan	Pertanyaan	Pernyataan
1	Rico	Personel *Exercise and Facility*	Apa langkah yang dilakukan jika performa *foam* menurun dan prosedur penyimpanan yang sesuai ?	Idealnya, kita mengikuti anjuran dari produsen dan regulasi resmi. Tapi memang, dalam praktiknya belum sepenuhnya ideal. Kalau ditemukan ada *foam* yang menurun performanya, biasanya kami pisahkan lokasi penyimpanannya dan jauhkan dari bahan lain yang bisa mencemari.
2	Rahmat	Personel		Sejujurnya belum. Saya rasa kita butuh gudang

p-ISSN : 2808-876X e-ISSN : 2798-1312

		Exercise and Facility		khusus untuk penyimpanan *foam*. Kalau *foam* di gudang sudah menurun kualitasnya, Biasanya di beri tanda dan dipakai saat personel sedang latihan.
3	Juanda	Personel *Aircraft*		Biasanya kami langsung melaporkannya ke unit RFF Quality Control agar ditindaklanjuti. Seharusnya kita mengikuti regulasi dan pedoman dari penyimpanan produsen.

d. Kendala yang Dihadapi

Tabel 5 Hasil Wawancara Kendala

No.	Nama	Jabatan	Pertanyaan	Pernyataan
1	Rico	Personel *Exercise and Facility*	Apa saja kendala yang Bapak hadapi dalam menjaga kualitas *foam*?	Kendala utamanya tentu saja soal anggaran. Untuk membangun gudang baru butuh biaya besar. Koordinasi antarunit sebenarnya mudah, tapi manajemen punya skala prioritas sendiri, dan sayangnya pembangunan gudang belum masuk prioritas.
2	Rahmat	Personel *Exercise and Facility*		Sarana penyimpanan yang ada belum memadai, dan anggaran belum ada untuk membangun gudang khusus sesuai anjuran produsen
3	Juanda	Personel *Aircraft*		Selain kebersihan, tidak tersedianya alat khusus untuk menyuplai *foam* dari drum ke kendaraan juga jadi masalah

4.4. Pembahasan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang penulis lakukan oleh narasumber personel PKP-PK Bandar Udara Internasional Kualanamu melalui wawancara dan berdasar oleh penelitian terdahulu, peneliti dapat menyimpulkan beberapa poin kendala dari performa *foam* pada gudang penyimpanan PKP-PK di Bandar Udara Internasional Kualanamu. Diantaranya yaitu:

a. Suhu Ruangan

Suhu ruangan gudang penyimpanan foam di Bandara Kualanamu yang panas dan tidak stabil, akibat AC tidak optimal, pencahayaan kurang, dan sirkulasi udara terbatas, mempercepat penurunan kualitas foam seperti pH, expansion ratio, dan drainage time. Penelitian terdahulu merekomendasikan penyimpanan pada suhu konstan 20–25°C untuk mencegah degradasi. Pengaturan suhu yang baik sangat penting agar performa foam tetap efektif.

b. Kontaminasi dengan Peralatan Lainya

Observasi dan wawancara menunjukkan bahwa foam di gudang PKP-PK bercampur dengan peralatan penunjang, sehingga berisiko terkontaminasi air, minyak, padatan, atau logam. Penelitian terdahulu membuktikan kontak dengan material logam dapat menyebabkan perubahan kimia yang menurunkan stabilitas, daya sebar, dan efektivitas foam. Pencampuran ini dinilai tidak tepat dan berpotensi merusak kualitas foam, sehingga diperlukan sistem penyimpanan terpisah dan tertata agar performa tetap optimal.

c. Anggaran Pembuatan Gudang Baru

Pencegahan penurunan performa foam memerlukan pembangunan gudang khusus yang sesuai standar penyimpanan. Wawancara mengungkap kendala utama adalah keterbatasan anggaran, sehingga pembangunan belum menjadi prioritas manajemen. Penelitian terdahulu menunjukkan minimnya fasilitas penyimpanan yang memadai berdampak pada kualitas dan efektivitas foam. Gudang khusus diperlukan agar foam terlindung dari panas, cahaya langsung, dan kontaminasi, sekaligus menjaga kesiapan operasional pemadaman kebakaran.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian di gudang penyimpanan PKP-PK Bandara Kualanamu menunjukkan penurunan performa foam dari tahun ke tahun, terlihat pada uji expansion ratio, drainage time, dan pH. Faktor penyebab utamanya

p-ISSN : 2808-876X e-ISSN : 2798-1312

adalah suhu ruangan yang tidak stabil, ventilasi buruk, pencampuran dengan peralatan lain yang memicu kontaminasi, serta ketiadaan gudang khusus sesuai standar. Kendala anggaran dan rendahnya prioritas manajemen menjadi hambatan utama perbaikan fasilitas.

Saran:
a. Membangun gudang khusus foam sesuai standar ICAO dan NFPA.
b. Memisahkan penyimpanan foam dari peralatan lain untuk mencegah kontaminasi.
c. Memperbaiki ventilasi dan pengaturan suhu (20–25°C).
d. Melakukan inspeksi dan pengujian berkala.
e. Menjadikan penyediaan fasilitas penyimpanan sebagai prioritas anggaran keselamatan penerbangan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. Angle, Firefighter's Handbook on Wildland Firefighting. Pearson Education Limited, 2014.
[2] S. Arikunto, Prosedur Penelitian. 2014.
[3] N. P. Bryner, "Evaluation of High-Expansion Foam for Fire Suppression in Enclosed Spaces," 2015.
[4] J. D. DeHaan and D. J. Icove, Kirk's Fire Investigation, 7th ed. 2011.
[5] F. Fadhilah, R. F. Suryawan, L. Suryaningsih, and L. Lestari, "Teori Gudang Digunakan Dalam Proses Pergudangan (Tinjauan Empat Aspek)," J. Transportasi, Logistik, dan Aviasi, vol. 1, no. 2, pp. 153–156, 2022, doi: 10.52909/jtla.v1i2.63.
[6] IFSTA, Essentials of Firefighting and Firefighting and Emergency Response, 2nd ed. 2013.
[7] T. Ivana, B. Karol, and P. Marzena, "The Effect of Fire Fighting Foams on the Environment and Fire Extinguishing," 2012, doi: 10.1016/j.molliq.2022.120805.
[8] L. Karmini, "Evaluasi Kesesuaian Fasilitas Dan Peralatan Unit," vol. VI, no. 2, pp. 1–10, 2023.
[9] S. Khanna, Fire Protection Handbook. 2001.
[10] N. Khanyi, "The Impact of the Storage Facility on Performance Parameters of Aqueous Film-Forming Fire-Fighting Foam (AFFF) in Aviation Fire Protection," MECHANICAL ENGI, Sep. 2024, doi: 10.51415/10321/5262.
[11] K. C. Schrøder, I. T. G., The International Encyclopedia of Strategic Communication. doi: 10.1002/9781119010722.iesc0008, 2021.
[12] Kementerian Perhubungan RI, Petunjuk dan Tata Cara Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139-12, KP 002 Tahun 2012.
[13] Kementerian Perhubungan RI, Petunjuk Teknis Pemeriksaan dan Pengujian Kinerja Fasilitas Pelayanan Darurat, KP 605 Tahun 2015.
[14] NFPA, NFPA 11, vol. 4, no. 1, pp. 1–23, 2021.
[15] I. F. Onsu, M. S. Mantiri, and F. Singkoh, "Analisis Pelaksanaan Tugas Pokok dan Fungsi Camat dalam Meningkatkan Pelayanan Publik di Kecamatan Kawangkoan Barat Kabupaten Minahasa," J. Eksekutif: J. Jurusan Ilmu Pemerintahan, vol. 3, no. 3, pp. 1–8, 2019.
[16] International Civil Aviation Organization, Airport Services Manual. ICAO, 2020.
[17] Peraturan Menteri Perhubungan RI, Pedoman Teknis Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil, 2015.
[18] Kementerian Perhubungan RI, Standar Teknis dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 (Manual of Standard CASR Part 139) Volume IV Pelayanan PKP-PK, PR 30 Tahun 2022.
[19] H. Pramono, M. Hermawan, and R. Adiputera, "Upaya Perawatan Alat Pemadam Api Jenis Portable Foam di MT. KATOMAS," J. Sains Teknologi Transportasi Maritim, vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2019, doi: 10.51578/j.sitektransmar.v1i2.2.
[20] J. Rakowska, "Best practices for selection and application of firefighting foam," MATEC Web Conf., vol. 247, pp. 1–8, 2018, doi: 10.1051/matecconf/201824700014.
[21] Y. Septiani, E. Aribbe, and R. Diansyah, "Analisis Kualitas Layanan Sistem Informasi Akademik Universitas Abdurrab terhadap Kepuasan Pengguna Menggunakan Metode Servqual," J. Teknol. dan Open Source, vol. 3, no. 1, pp. 131–143, 2020, doi: 10.36378/jtos.v3i1.560.
[22] O. S. Sinaga, Manajemen Kinerja dalam Organisasi. Google Books, 2020.
[23] P. D. Sugiyono, Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. 2015.

[24] P. C. Susanto and Y. Keke, "Implementasi Regulasi International Civil Aviation Organization (ICAO) pada Penerbangan Indonesia," Aviasi: J. Ilm. Kedirgantaraan, vol. 16, no. 1, pp. 53–65, 2020, doi: 10.52186/aviasi.v16i1.23.
[25] T. Nirwana, "Analisis Standardisasi Sarana dan Prasarana Pemadam Kebakaran," J. Ilmu Pemerintahan Widya Praja, vol. 50, no. 2, pp. 173–189, 2024, doi: 10.33701/jipwp.v50i2.4121.
[26] I. Turekov and K. Balog, "Slovak University of Technology Bratislava Faculty of Materials Science and Technology Institute of Safety and Environmental Engineering," n.d.
[27] Republik Indonesia, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009. 2009.
[28] H. Wang, J. Zhang, H. Zhong, and L. Chen, "Study on the Influence of Expansion Ratio on the Effectiveness of Foam in Suppressing Forest Surface Fires," Fire, vol. 8, no. 5, 2025, doi: 10.3390/fire8050171.
[29] S. Wilastari and S. Wibowo, "Upaya Optimalisasi Kesiapan Alat-Alat Pemadam Kebakaran dalam Menjaga Keselamatan di Atas Kapal," Marine Sci. Technol. J., vol. 1, no. 2, pp. 77–83, 2021.
[30] X. Zhou, Z. An, Z. Liu, H. Ha, Y. Li, and R. Pan, "The Influence of the Heat Transfer Mode on the Stability of Foam Extinguishing Agents," Fire, vol. 7, no. 4, 2024, doi: 10.3390/fire7040137.