



Analisis Penyebab dan Dampak Kebocoran Bahan Bakar terhadap Keselamatan Operasional Penerbangan

Muhammad Revaldi Pratama Haksu Jeon^{1*}, Raffy Arrasyfazra Prayogo², Bhima Sakti Araffat³, Bambang Sutarmadji⁴

^{1,2,3,4}Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Indonesia

*Korespondensi penulis: revaldihaksujeon1@gmail.com

Abstract. *International airports are complex work environments with unique occupational health and safety risks. As hubs of intensive transportation activities, airports involve various operations, including flight services, passenger handling, cargo management, and fuel operations. Early detection of fuel leaks is crucial to ensure the aircraft's fuel system is free from leaks, blockages, or potential fire hazards. This study aims to analyze the causes of fuel leakage and identify appropriate mitigation measures, using observation and literature review methods. The findings indicate that fuel leakage occurring while the aircraft is parked suggests damage to certain fuel system components, such as seal gaskets, sealants, and dome nuts, which may suffer from wear or cracking due to age-related degradation. Such damage poses serious risks, including fire hazards, corrosion to aircraft structures—particularly in hard-to-reach areas like the wings or fuselage—and a drop in fuel pressure that could impair engine performance or cause flight cancellations. To address these issues, thorough inspections of all fuel system components are essential. Additionally, the use of sensors to detect abnormal changes in fuel pressure and flow, combined with rigorous leak testing after repairs, is recommended to ensure operational safety and reliability.*

Keywords: *Flight, Fuel Leak Detection, Mitigation.*

Abstrak. Bandara internasional merupakan lingkungan kerja dengan tingkat kompleksitas tinggi serta risiko khas dalam aspek kesehatan dan keselamatan kerja. Sebagai pusat aktivitas transportasi, bandara mencakup berbagai operasi seperti layanan penerbangan, pelayanan penumpang, hingga pengelolaan kargo dan bahan bakar. Deteksi dini kebocoran bahan bakar menjadi penting untuk memastikan sistem bebas dari kebocoran, penyumbatan, maupun potensi kebakaran. Penelitian ini bertujuan menganalisis penyebab kebocoran bahan bakar dan upaya penanggulangannya, dengan menggunakan metode observasi dan tinjauan literatur. Hasilnya menunjukkan bahwa kebocoran saat pesawat parkir mengindikasikan kerusakan pada komponen seperti *seal gasket*, *sealant*, dan *dome nut* akibat keausan atau usia pakai. Kerusakan ini berisiko memicu kebakaran, menyebabkan korosi pada struktur pesawat, serta menurunkan tekanan bahan bakar yang dapat mengganggu kinerja mesin. Oleh karena itu, diperlukan pemeriksaan menyeluruh terhadap seluruh komponen sistem bahan bakar. Selain itu, penggunaan sensor untuk memantau perubahan tekanan dan aliran bahan bakar serta pelaksanaan uji kebocoran secara ketat setelah perbaikan direkomendasikan guna memastikan keselamatan dan keandalan operasional pesawat.

Kata Kunci: Bahan Bakar Deteksi, Penanggulangan, Penerbangan.

1. LATAR BELAKANG

Bandara internasional merupakan salah satu lingkungan kerja dengan tingkat kompleksitas tinggi serta karakteristik risiko yang khas dalam aspek kesehatan dan keselamatan kerja. Sebagai pusat aktivitas transportasi yang intensif, bandara melibatkan berbagai operasi, termasuk layanan penerbangan, pelayanan penumpang, serta pengelolaan kargo dan bahan bakar. Dalam kerangka tersebut, implementasi Sistem Manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja (SMK3) secara menyeluruh dan tepat menjadi hal yang esensial guna

menjamin kesejahteraan tenaga kerja serta mendukung keberlangsungan dan keamanan operasional secara keseluruhan (Feridoanto, 2024). beberapa faktor utama yang terkait dengan keamanan operasional penerbangan pesawat salah satunya deteksi dini kebocoran.

Deteksi dini kebocoran yaitu memastikan sistem bahan bakar pesawat bebas dari kebocoran, penyumbatan, maupun kebakaran (Warhani, 2024). Bahan bakar pesawat disimpan di dalam tangki-tangki bahan bakar yang terletak di sisi kanan, kiri, serta bagian tengah sayap. Pada lapisan luar sayap (wing skin), terdapat panel akses yang berfungsi untuk pengisian, pengeluaran, serta pemeriksaan bahan bakar (Putra, 2022).

Berbagai insiden yang terjadi akibat dari kebocoran bahan bakar pada pesawat contoh adalah insiden yang terjadi pada Dynamic International Airways Flight 405 pada 2015, di mana kebakaran terjadi saat pesawat taxiing di Bandara Internasional Fort Lauderdale-Hollywood akibat sambungan pipa bahan bakar utama yang terlepas, menyebabkan 22 orang terluka. Kasus lainnya adalah Air Transat Flight 236 pada 2001, di mana pesawat kehilangan daya mesin total di atas Samudra Atlantik akibat kebocoran bahan bakar yang disebabkan oleh kerusakan sistem hidrolik. Meskipun pesawat berhasil mendarat darurat, insiden ini menyoroti risiko kebocoran bahan bakar dalam penerbangan jarak jauh. Pada 2023, Delta Air Lines Flight DAL209 mengalami kebakaran akibat kebocoran bahan bakar yang disebabkan oleh kerusakan pada mesin, sementara United Airlines Flight dari Sydney juga menghadapi kebocoran bahan bakar di udara, memaksa pesawat melakukan pendaratan darurat. Kejadian serupa terjadi pada Air France Flight AF735V pada 2020, di mana kebocoran bahan bakar saat terbang memaksa pesawat kembali melakukan pendaratan darurat. Kasus-kasus ini menekankan pentingnya pemeliharaan sistem bahan bakar yang ketat dan deteksi dini untuk mencegah terjadinya insiden yang dapat mengancam keselamatan penerbangan (BEA, 2020; New York Post, 2024).

Sebuah Kasus kebocoran bahan bakar yang di temukan pada pesawat Airbus A330 dalam kondisi sedang terparkir, ditemukan adanya tetesan cairan cukup deras di bagian bawah sayap kiri. Setelah dilakukan smell test hasilnya menunjukkan bahwa cairan tersebut adalah bahan bakar, Volume kebocoran cukup signifikan, hingga membentuk genangan pada permukaan tanah di sekitar area tersebut. Situasi ini menimbulkan potensi bahaya yang serius, mengingat bahan bakar yang tergenang dan menyebar dapat dengan mudah memicu risiko kebakaran.

Berdasarkan data insiden dan studi kasus, penelitian ini bertujuan untuk menyoroti pentingnya memahami dampak dari kebocoran pada panel tangki bahan bakar, sehingga dapat diidentifikasi potensi risiko terhadap keselamatan operasional serta dirumuskan langkah perbaikan yang sesuai berdasarkan referensi dalam Aircraft Maintenance Manual (AMM).

2. KAJIAN TEORITIS

Keselamatan penerbangan merupakan hasil dari interaksi yang kompleks antara manusia, mesin, dan lingkungan operasional. Menurut Reason (1997), teori Swiss Cheese Model menjelaskan bahwa kecelakaan terjadi bukan karena satu kesalahan tunggal, melainkan karena rangkaian kegagalan pada berbagai lapisan pertahanan sistem. Dalam konteks kebocoran bahan bakar, hal ini dapat mencakup kesalahan dalam perawatan, deteksi, prosedur inspeksi, dan respons darurat. Tangki bahan bakar pesawat dirancang untuk menahan tekanan, suhu ekstrem, dan getaran tinggi. Namun seiring waktu dan akibat beban siklik, keretakan struktural pada panel tangki atau sambungan (sealing) dapat terjadi (Kinnison & Siddiqui, 2013). Aircraft Maintenance Manual (AMM) biasanya menyarankan prosedur inspeksi non-destruktif (NDT) secara berkala untuk mencegah kegagalan struktural ini. Bahan bakar jet, seperti Jet-A1, bersifat mudah menguap dan sangat mudah terbakar. Kebocoran bahan bakar tidak hanya berisiko menimbulkan kebakaran, tetapi juga dapat menyebabkan gangguan pada sistem kendali jika mencapai komponen listrik atau hidrolik. Menurut laporan FAA (2020), 12% insiden kebakaran pesawat di darat antara tahun 2000–2020 disebabkan oleh kebocoran bahan bakar yang tidak terdeteksi atau tidak segera ditangani.

3. METODE PENELITIAN

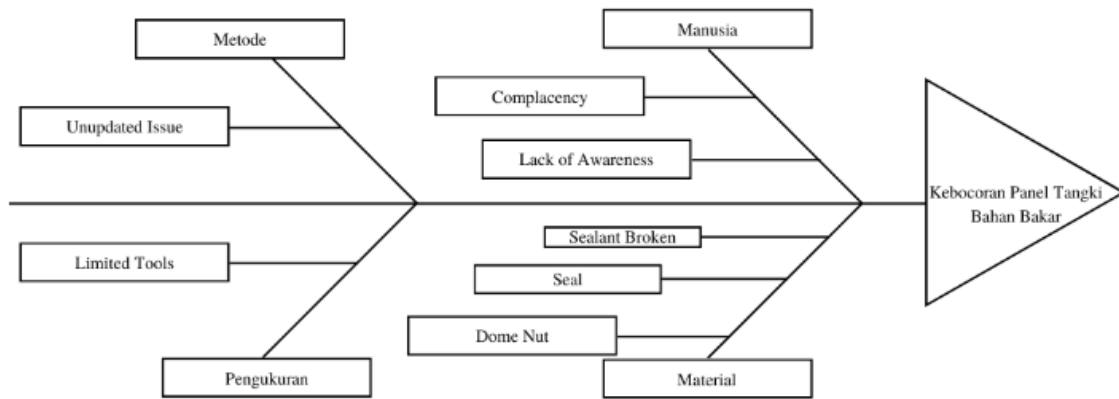
Jenis penelitian ini adalah penelitian kualitatif. Dengan metode observasi langsung digunakan untuk mengamati dan menganalisis penanganan perawatan pesawat Airbus A330. Dengan menggunakan metode Fishbone analysis untuk mencari kemungkinan penyebab yang kebocoran bahan bakar pesawat Airbus A330. Dan metode literatur review untuk menjelaskan upaya penanggulangan kebocoran bahan bakar.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Faktor Penyebab Kebocoran Bahan Bakar

Analisis menggunakan diagram Fishbone

Berdasarkan data yang diperoleh, beberapa faktor penyebab kebocoran pada panel tangki bahan bakar pesawat Airbus A330.



Gambar 1. Fishbone Analysis

Berdasarkan Gambar 1 Fishbone Analysis terdapat empat faktor utama yang menjadi penyebab terjadinya kebocoran pada panel tangki bahan bakar, yaitu faktor manusia, metode, material, dan pengukuran (sumber,).

- 1) Faktor manusia mencakup aspek *complacency* dan *lack of awareness*. *Complacency* merujuk pada kondisi di mana individu merasa terlalu percaya diri atau puas diri akibat rutinitas pekerjaan yang dilakukan berulang, sehingga muncul sikap meremehkan risiko dan menurunnya kewaspadaan. Sementara itu, *lack of awareness* menggambarkan kurangnya kesadaran individu terhadap potensi bahaya, yang umumnya dipengaruhi oleh kelelahan, stres, tekanan eksternal, maupun gangguan lingkungan kerja.
- 2) Faktor metode berkaitan dengan penggunaan prosedur atau pendekatan yang sudah usang (*unupdated issue*), sehingga permasalahan masih diselesaikan dengan metode lama yang tidak lagi direkomendasikan oleh pihak manufaktur.
- 3) Faktor pengukuran mengacu pada keterbatasan alat ukur (*limited tools*) yang tersedia. Ketidaklengkapan atau ketidaktepatan alat dapat menyebabkan ketidaksesuaian torsi saat pengencangan baut pada panel tangki bahan bakar. Hal ini berpotensi mengakibatkan baut dikencangkan secara berlebihan, sehingga dapat merusak komponen seperti *dome nut* dan meningkatkan risiko kebocoran.
- 4) Faktor material meliputi kerusakan pada komponen-komponen seperti *dome nut*, *seal gasket*, dan *sealant*. Keretakan atau penurunan kualitas pada material ini umumnya

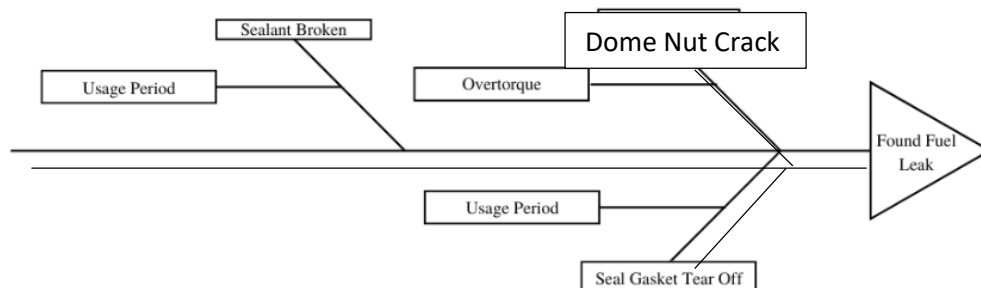
disebabkan oleh usia pemakaian yang telah melampaui batas rekomendasi. Degradasi material tersebut dapat mengganggu integritas sistem penyegelan dan menyebabkan kebocoran bahan bakar.

Analisis Faktor Paling Dominan

Berdasarkan data yang ditemukan pada kebocoran pesawat Airbus A330. Dari hasil analisa faktor paling dominan adalah faktor material, Berdasarkan kronologi kejadian yang terjadi pada tanggal 29 November 2024 pukul 06.00 pagi, di mana ditemukan tetesan bahan bakar yang cukup deras di bawah sayap kiri pesawat PK-GPL yang sedang terparkir, analisis menggunakan pendekatan *Fishbone Diagram* menunjukkan bahwa faktor yang paling dominan dalam insiden ini adalah faktor material. Hal ini ditunjukkan oleh karakteristik kebocoran yang terjadi dalam kondisi pesawat tidak beroperasi, tanpa adanya aktivitas pengisian atau pengeluaran bahan bakar, sehingga kemungkinan besar disebabkan oleh degradasi komponen struktural tangki bahan bakar. Komponen seperti *seal gasket*, *sealant*, atau *dome nut* memiliki potensi mengalami keretakan atau keausan akibat usia pakai yang telah melewati batas layak operasi. Kerusakan pada bagian tersebut dapat menyebabkan kegagalan dalam sistem penyegelan tangki dan memicu kebocoran bahan bakar (Jurnal 1). Studi oleh Chien, Lee, dan Hsieh (2018) mendukung temuan ini, di mana mereka menyimpulkan bahwa kebocoran bahan bakar saat pesawat dalam kondisi parkir kerap diakibatkan oleh degradasi material penyegel akibat siklus tekanan dan suhu ekstrem yang terjadi selama masa operasional.

Analisis Found Fuel Leak

Ditemukannya kebocoran bahan bakar (fuel leak) dapat disebabkan oleh kondisi seal dan sealant yang telah melewati masa pakai yang direkomendasikan, sehingga menyebabkan robeknya seal gasket dan memicu terjadinya kebocoran. Selain itu, kerusakan pada komponen dome nut juga berpotensi menjadi sumber kebocoran bahan bakar (Lio, 2024).



Gambar 2. Diagram Found Fuel Leak

Berdasarkan diagram fishbone pada gambar 2 maka, faktor penyebab terjadinya problem found fuel leak dapat diuraikan sebagai berikut

1) Dome Nut Crack

Salah satu penyebab kebocoran pada panel tangki bahan bakar adalah kerusakan pada *dome nut* yang terpasang pada panel tersebut. Keretakan pada *dome nut* umumnya terjadi akibat penerapan torsi yang melebihi batas yang dianjurkan selama proses pemasangan. Torsi yang direkomendasikan untuk pengencangan baut panel adalah sebesar 4 ± 1 Nm. Apabila torsi yang diberikan melebihi 5 Nm, maka risiko terjadinya retak pada *dome nut* meningkat secara signifikan, yang pada akhirnya dapat memicu kebocoran bahan bakar.

2) Kerusakan pada Seal Gasket (Seal Gasket Tear Off)

Kebocoran bahan bakar dapat disebabkan oleh kerusakan pada seal, salah satunya adalah robeknya seal gasket (*seal gasket tear off*). Kondisi ini umumnya terjadi akibat usia pakai yang telah melampaui batas yang disarankan, sehingga material pada seal mengalami degradasi dan menyebabkan robekan yang memicu terjadinya kebocoran pada panel.

3) Kerusakan pada Sealant (Sealant Broken)

Selain itu, kerusakan pada sealant juga menjadi salah satu penyebab kebocoran. Sealant yang telah digunakan dalam jangka waktu lama cenderung mengalami penurunan kualitas, yang ditandai dengan retakan atau pecahnya material penyegel tersebut, sehingga mengganggu integritas sistem dan memungkinkan bahan bakar merembes keluar.

Analisis dampak dari Kebocoran Akibat Degradasi Komponen

Kebocoran bahan bakar dapat menyebabkan akumulasi uap bahan bakar di sekitar tangki. Jika uap ini terkena sumber percikan, seperti kabel listrik yang rusak, dapat memicu kebakaran atau ledakan (Sembiring, 2025). Didukung oleh penelitian Adekitan (2018) menyoroti bahwa kebocoran bahan bakar dapat menyebabkan akumulasi uap yang mudah terbakar, yang jika terkena sumber percikan dapat memicu kebakaran atau ledakan. Laporan dari Acorn Welding juga menekankan bahwa kebocoran bahan bakar dapat menyebabkan kebakaran yang membahayakan seluruh pesawat (Acorn Welding, 2024).

Bahan bakar yang merembes dapat menyebabkan korosi pada struktur pesawat, terutama jika terjadi di area yang sulit dijangkau, seperti dalam sayap atau fuselage (Lio, 2024). Kebocoran bahan bakar pada sistem tangki pesawat dapat menimbulkan dampak yang

signifikan terhadap integritas struktural pesawat. Kebocoran tersebut berpotensi mengalir ke area-area yang sulit dijangkau, seperti bagian dalam sayap atau fuselage yang sering kali terpapar pada kondisi lingkungan yang ekstrem. mengakibatkan bahan bakar yang merembes dapat mempercepat proses korosi pada komponen logam di area tersebut, sehingga dapat menurunkan kekuatan struktural pesawat secara keseluruhan. Korosi yang terjadi pada bagian-bagian kritis ini, jika tidak segera ditangani, dapat meningkatkan risiko kegagalan struktural pesawat, yang berpotensi membahayakan keselamatan penerbangan, terutama dalam situasi yang memerlukan kinerja optimal dari pesawat (Adekitan, 2018).

Kebocoran dapat menyebabkan penurunan tekanan bahan bakar, yang berpotensi mengganggu kinerja mesin atau menyebabkan pembatalan penerbangan. kebocoran bahan bakar pada sistem tangki pesawat dapat menurunkan tekanan bahan bakar yang disalurkan ke mesin. Penurunan tekanan ini berpotensi mengganggu kestabilan aliran bahan bakar yang diperlukan untuk operasional mesin, yang pada gilirannya dapat mengakibatkan penurunan kinerja mesin atau bahkan kegagalan total dalam pasokan bahan bakar. Situasi tersebut dapat menimbulkan risiko serius terhadap keselamatan penerbangan dan, dalam beberapa kasus, berpotensi menyebabkan pembatalan penerbangan yang berdampak pada jadwal operasional maskapai serta kepercayaan penumpang (Acorn Welding, 2024).

Upaya Penanggulangan Found Fuel Leak

Penanggulangan kebocoran bahan bakar (found fuel leak) pada pesawat memerlukan pendekatan sistematis untuk memastikan keselamatan operasional dan mengurangi risiko yang dapat timbulkan. Melakukan pemeriksaan secara menyeluruh terhadap sistem bahan bakar, termasuk komponen kritis seperti seal gasket, sealant, dan dome nut. Hal ini bertujuan untuk mendeteksi kerusakan atau degradasi yang dapat memicu kebocoran. Penggunaan teknologi deteksi kebocoran seperti sistem ultrasonik atau inframerah dapat mempercepat proses identifikasi kebocoran. Penelitian oleh *Patel et al. (2020)* menunjukkan bahwa penerapan inspeksi rutin dengan teknologi deteksi kebocoran dapat secara signifikan mengurangi risiko kebocoran yang tidak terdeteksi.

Penggunaan sensor untuk mendeteksi perubahan tekanan bahan bakar dan aliran yang tidak normal juga disarankan oleh *Zhang et al. (2019)*, yang mengidentifikasi bahwa teknologi sensor dapat membantu dalam pemantauan kondisi tangki bahan bakar secara real-time. Penggantian komponen yang telah mengalami kerusakan akibat keausan berperan penting dalam mencegah kebocoran bahan bakar. *Kumar et al. (2018)* dalam penelitiannya menunjukkan bahwa penggantian seal gasket yang sudah rusak mengurangi kemungkinan

kebocoran pada pesawat komersial. Penelitian oleh *Jones & Taylor (2019)* mengungkapkan bahwa setelah perbaikan tangki bahan bakar, uji kebocoran yang ketat sangat penting untuk memastikan bahwa kebocoran telah sepenuhnya teratasi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pembahasan terhadap kejadian kebocoran bahan bakar pada pesawat Airbus A330, dapat disimpulkan bahwa insiden kebocoran yang terjadi saat pesawat dalam kondisi parkir atau tidak beroperasi mengindikasikan adanya kerusakan pada beberapa komponen sistem bahan bakar. Komponen seperti *seal gasket*, *sealant*, dan *dome nut* memiliki potensi mengalami keretakan atau keausan akibat usia pakai yang telah melebihi batas kelayakan operasional. Kerusakan pada bagian tersebut tidak hanya berisiko memicu kebakaran yang membahayakan keseluruhan pesawat, tetapi juga dapat menyebabkan korosi pada struktur pesawat, terutama jika terjadi di area yang sulit diakses seperti dalam sayap atau badan pesawat (*fuselage*). Selain itu, kebocoran bahan bakar dapat menyebabkan penurunan tekanan dalam sistem bahan bakar, yang berpotensi mengganggu kinerja mesin hingga menyebabkan pembatalan penerbangan. Untuk menanggulangi hal tersebut, perlu dilakukan pemeriksaan menyeluruh terhadap seluruh komponen sistem bahan bakar, khususnya pada bagian *seal gasket*, *sealant*, dan *dome nut*, guna memastikan keandalan dan keselamatan operasional pesawat selain itu juga direkomendasikan Penggunaan sensor untuk mendeteksi perubahan tekanan bahan bakar dan aliran yang tidak normal serta uji kebocoran yang ketat setelah perbaikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi dan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penyusunan tulisan ini. Penulis berharap bahwa hasil penelitian ini tidak hanya menjadi referensi yang bermanfaat bagi pembaca, tetapi juga mampu memberikan kontribusi positif dalam pengembangan ilmu pengetahuan serta menjadi dasar bagi penelitian lanjutan di bidang terkait.

DAFTAR REFERENSI

- Adekitan, A. I. (2018). Penilaian risiko dan analisis keselamatan untuk korosi tangki bahan bakar jet operasi sertifikasi ulang. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 9(7), 387–396. <http://www.iaeme.com/IJMET/index.asp>
- BEA. (2020). *Incident to the Airbus A330 registered F-GZCJ operated by Air France on 31/12/2020 en route*. Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la Sécurité de l'Aviation Civile. <https://bea.aero/en/investigation-reports/notified-events/detail/incident-to-the-airbus-a330-registered-f-gzcj-operated-by-air-france-on-31-12-2020-en-route/>
- Chien, H. M., Lee, W. J., & Hsieh, M. T. (2018). Investigation of fuel tank sealant degradation and leakage in aircraft wings. *Journal of Aerospace Engineering*, 31(2), 1–10.
- Federal Aviation Administration (FAA). (2020). *Advisory Circular 20-105B: Fire protection for aircraft*. <https://www.faa.gov>
- Feridoanto, M. (2024). *Sistem kendali dan pemantauan pemakaian tangki harian generator set Bandara Internasional Soekarno-Hatta* (Doctoral dissertation, Universitas Sangga Buana YPKP).
- Jones, L., & Taylor, M. (2019). Fuel tank leak repair and testing: Safety considerations in aircraft maintenance. *Journal of Aviation Safety*, 12(4), 302–316.
- Kumar, A., & Singh, N. (2018). Analysis of fuel tank leakage and mitigation strategies. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(5), 87–95.
- Lio, L. S., Fatkhulloh, A., & Cahyono, E. (2024). Troubleshooting fuel center wing Airbus 321-211 di PT. GMF AeroAsia Tbk. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3).
- New York Post. (2024, March 13). United Airlines reports fifth incident in over a week as US-bound flight returns to Australia. <https://nypost.com/2024/03/13/united-airlines-reports-fifth-incident-in-over-a-week-as-us-bound-flight-returns-to-australia/>
- Patel, R., & Gupta, P. (2020). Detection of fuel leaks in aircraft: A case study and emerging technologies. *Journal of Aircraft Maintenance*, 22(3), 45–58.
- Putra, M. K., & Jannus, P. (2022, December). Studi kasus kebocoran panel tangki bahan bakar pada pesawat Boeing 737-800. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin* (No. 1, pp. 675–681).
- Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Ashgate.
- Sembiring, N. (2025). *Penanganan muatan cair zat kimia acrylonitril dalam kegiatan muat dan bongkar di MT Seychelles Progress*.
- Wardhani, S. N., Saputra, S. T., & Adinnagara, M. S. (2024). Peran sprinkler water dalam rencana darurat kebakaran bandara: Evaluasi protokol dan langkah-langkah mitigasi risiko. *Aviation Business and Operations Journal*, 2(1), 40–47.

Zhang, L., Wang, J., & Li, H. (2019). Real-time fuel system monitoring using advanced sensors for aircraft safety. *Journal of Aerospace Technology*, 18(6), 115–129.