



Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran
<http://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jrpp>
 Volume 7 Nomor 4, 2024
 P-2655-710X e-ISSN 2655-6022

Submitted : 29/09/2024
 Reviewed : 14/10/2024
 Accepted : 17/10/2024
 Published : 29/10/2024

Wahyu Cakra
 Nugraha¹
 Bhima Shakti Arrafat²
 Ichyu Machmiyana³

ANALISIS PERBANDINGAN POTENSI BAHAYA DAN EFEKTIVITAS PROSEDUR EVAKUASI ANTARA PESAWAT BERBAHAN BAKAR HIDROGEN DAN BAHAN BAKAR KEROSENE

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi potensi bahaya intrinsik dan efektivitas prosedur evakuasi pada pesawat berbahan bakar hidrogen dibandingkan dengan pesawat berbahan bakar kerosene konvensional. Dengan metode kualitatif berdasarkan data sekunder dari jurnal dan regulasi yang ada, penelitian ini menganalisis implikasi penggunaan hidrogen cair dalam penerbangan terhadap keselamatan penumpang dalam situasi darurat, khususnya kebakaran. Temuan menunjukkan adanya perbedaan karakteristik bahan bakar yang mempengaruhi risiko keselamatan, serta menunjukkan bahwa beberapa regulasi evakuasi pada pesawat konvensional mungkin perlu penyesuaian agar sesuai dengan karakteristik unik bahan bakar hidrogen. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pandangan tambahan dalam pengembangan regulasi keselamatan untuk pesawat berbahan bakar hidrogen.

Kata Kunci: Pesawat Berbahan Bakar Hidrogen, Pesawat Berbahan Bakar Minyak Tanah, Bahaya Intrinsik, Prosedur Evakuasi, Hidrogen Cair, Keselamatan Penumpang, Peraturan Penerbangan, Tanggap Darurat, Risiko Kebakaran.

Abstract

This study evaluates the intrinsic hazards and the effectiveness of evacuation procedures for hydrogen-fueled aircraft in comparison to conventional kerosene-fueled aircraft. Using a qualitative method based on secondary data from journals and existing regulations, this research analyzes the implications of using liquid hydrogen in aviation on passenger safety in emergency situations, especially in cases of fire. Findings indicate differences in fuel characteristics that impact safety risks, suggesting that some evacuation regulations for conventional aircraft may need adjustments to accommodate the unique properties of hydrogen fuel. The results of this study aim to contribute valuable insights into the development of safety regulations for hydrogen-fueled aircraft.

Keywords: Hydrogen-Fueled Aircraft, Kerosene-Fueled Aircraft, Intrinsic Hazard, Evacuation Procedures, Liquid Hydrogen, Passenger Safety, Aviation Regulations, Emergency Response, Fire Risk.

PENDAHULUAN

Krisis iklim global telah mendorong berbagai sektor, termasuk penerbangan, untuk mengeksplorasi alternatif energi yang lebih bersih. Pesawat bertenaga hidrogen telah muncul sebagai pilihan yang berpotensi lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pesawat konvensional, yang terutama mengandalkan bahan bakar berbasis fosil seperti minyak tanah. Bahan bakar hidrogen, terutama dalam bentuk cair, memiliki potensi yang signifikan untuk mengurangi emisi karbon karena menghasilkan uap air sebagai produk sampingan utama saat dibakar, tidak seperti minyak tanah yang menghasilkan karbon dioksida dan polutan lainnya (Smith, 2021; Asosiasi Transportasi Udara Internasional [IATA], 2023). Atribut ini menempatkan hidrogen cair sebagai kandidat utama untuk mencapai emisi nol-nol dalam

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

email: wahyu.cakra@ppicurug.ac.id, bhima.shakti@ppicurug.ac.id, ichyu.machmiyana@ppicurug.ac.id

penerbangan, yang merupakan tujuan utama bagi industri ini mengingat kontribusinya terhadap emisi gas rumah kaca global (Williams et al., 2022).

Dari perspektif kimia dan fisika, hidrogen memiliki sifat unik yang membedakannya dari minyak tanah. Hidrogen, terutama dalam bentuk cair, sangat mudah terbakar, dengan rentang mudah terbakar yang luas di udara yang membuatnya lebih rentan terhadap penyalaan dalam berbagai kondisi. Titik didihnya yang rendah yaitu $-252,87^{\circ}\text{C}$ juga berarti bahwa hidrogen harus disimpan dan ditangani dengan hati-hati untuk menghindari masalah yang berkaitan dengan suhu kriogenik, seperti penggetasan material dan potensi risiko terhadap keselamatan manusia jika terjadi kebocoran (Jones & Brown, 2022; Lee dkk., 2021). Ukuran molekul hidrogen yang kecil semakin berkontribusi pada kecenderungannya untuk keluar melalui bahan yang seharusnya mengandung minyak tanah, sehingga meningkatkan risiko kebocoran. Kombinasi karakteristik ini membuat hidrogen menjadi zat yang unik untuk dikelola dalam aplikasi penerbangan, yang membutuhkan pertimbangan keselamatan khusus dan protokol penanganan (Clark et al., 2020).

Sebaliknya, minyak tanah relatif lebih stabil dalam kondisi ambien dan telah menjadi bahan bakar penerbangan standar selama beberapa dekade karena kepadatan energinya, kemudahan penyimpanan, dan profil keamanannya. Volatilitas dan sifat mudah terbakar minyak tanah telah dipahami dengan baik, dan peraturan industri telah lama dibuat untuk mengurangi risiko terkait. Sebagai contoh, titik nyala minyak tanah relatif tinggi, sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya penyalaan yang tidak disengaja dalam kondisi normal (Anderson, 2019). Tingkat stabilitas minyak tanah ini telah menjadi dasar peraturan Administrasi Penerbangan Federal (FAA) dan Organisasi Penerbangan Sipil Internasional (ICAO) saat ini, yang memandu prosedur tanggap darurat, termasuk evakuasi penumpang jika terjadi kebakaran atau keadaan darurat lainnya yang melibatkan bahan bakar penerbangan konvensional (FAA, 2023; ICAO, 2022).

Bahaya intrinsik yang terkait dengan bahan bakar hidrogen dengan demikian memperkenalkan dimensi baru pada keselamatan penerbangan. Saat ini, prosedur evakuasi untuk pesawat konvensional dirancang berdasarkan perilaku minyak tanah selama keadaan darurat, seperti kebakaran atau tabrakan. Namun, api hidrogen, misalnya, hampir tidak terlihat, menyala dengan api biru pucat atau terkadang tidak berwarna, yang dapat menghalangi deteksi dan pelarian penumpang selama keadaan darurat (White & Taylor, 2021). Selain itu, paparan hidrogen cair menghadirkan risiko kesehatan yang unik, termasuk luka bakar kriogenik akibat kontak langsung, yang tidak ditemukan pada minyak tanah (Lee et al., 2023). Asosiasi Internasional untuk Keselamatan Hidrogen (HySafe) menekankan perlunya protokol keselamatan khusus dalam menangani dan mengelola hidrogen untuk mengurangi risiko-risiko unik ini, terutama di lingkungan yang berisiko tinggi seperti penerbangan (HySafe, 2022).

Kerangka kerja peraturan yang ada, termasuk yang diuraikan dalam Peraturan Penerbangan Federal (FAR) Bagian 25 dan Lampiran 6 ICAO tentang operasi pesawat terbang, sebagian besar membahas risiko yang terkait dengan bahan bakar minyak tanah. Peraturan tersebut menetapkan pedoman keselamatan kebakaran, prosedur evakuasi, dan standar operasional berdasarkan karakteristik bahan bakar tradisional (FAA, 2023; ICAO, 2022). Namun, transisi ke pesawat berbahan bakar hidrogen mungkin memerlukan evaluasi ulang terhadap standar-standar ini untuk memastikan bahwa standar-standar tersebut secara memadai menangani sifat-sifat unik hidrogen dan risiko yang terkait. Sebagai contoh, pelatihan yang diperbarui untuk awak pesawat dan personel darat mungkin diperlukan untuk mengenali tanda-tanda kebocoran atau kebakaran hidrogen dan meresponsnya secara efektif (Aviation Safety Journal, 2022).

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi bahaya intrinsik yang terkait dengan bahan bakar hidrogen cair dalam penerbangan dan membandingkannya dengan bahan bakar minyak tanah, dengan fokus khusus pada prosedur evakuasi dan risiko keselamatan dalam situasi darurat. Penelitian ini juga bertujuan untuk menilai apakah peraturan evakuasi yang ada saat ini yang dirancang untuk pesawat konvensional masih efektif atau perlu diadaptasi agar sesuai dengan sifat bahan bakar hidrogen yang berbeda. Pada akhirnya, penelitian ini bermaksud untuk memberikan landasan untuk menyempurnakan pedoman keselamatan guna meningkatkan implementasi bahan bakar hidrogen yang aman dalam industri penerbangan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif. Data dikumpulkan melalui studi literatur yang melibatkan artikel ilmiah dan regulasi keselamatan penerbangan yang relevan, seperti yang diterbitkan oleh FAA dan ICAO (International Civil Aviation Organization). Analisis difokuskan pada:

1. Sifat kimiawi dan fisik bahan bakar hidrogen dan kerosene.
2. Potensi bahaya kebakaran dari masing-masing bahan bakar.
3. Efektivitas prosedur evakuasi dalam berbagai situasi darurat.

Referensi regulasi dan studi kasus kecelakaan penerbangan yang melibatkan kebakaran juga digunakan untuk memahami bagaimana bahan bakar mempengaruhi proses evakuasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Bahaya Intrinsik

Hidrogen dan kerosene memiliki karakteristik bahan bakar yang sangat berbeda. Hidrogen cair mudah menguap dan rentan terhadap kebocoran melalui bahan yang porous (Clark et al., 2020). Selain itu, campuran hidrogen dan udara bisa sangat mudah terbakar dengan rentang konsentrasi yang lebih luas daripada kerosene. Sementara itu, kerosene memiliki volatilitas yang lebih rendah, namun tetap memiliki risiko kebakaran jika terjadi kebocoran dalam jumlah besar (Anderson, 2019).

Evaluasi Prosedur Evakuasi

Prosedur evakuasi saat ini pada pesawat konvensional difokuskan pada penyebaran asap dan nyala api yang mungkin dihasilkan dari kebakaran bahan bakar kerosene. Namun, hidrogen terbakar dengan nyala api yang hampir tidak terlihat, yang dapat menyulitkan penumpang dalam mendeteksi api secara visual selama evakuasi (White & Taylor, 2021). Selain itu, paparan langsung hidrogen cair juga dapat menyebabkan efek kesehatan yang lebih akut, seperti luka bakar beku (cryogenic burns), yang tidak ditemui pada pesawat berbahan kerosene (Lee et al., 2023).

Implikasi Terhadap Regulasi Keselamatan

Regulasi keselamatan yang ada, seperti Federal Aviation Regulations (FAR) Part 25 terkait evakuasi pesawat, mungkin perlu diperbarui untuk menyesuaikan dengan karakteristik bahan bakar hidrogen. Sebagai contoh, perlu adanya pelatihan tambahan untuk awak kabin mengenai risiko unik hidrogen, seperti cara mendeteksi kebocoran hidrogen dan prosedur khusus untuk menangani api hidrogen yang tidak kasat mata (Aviation Safety Journal, 2022).

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik unik dari hidrogen sebagai bahan bakar mempengaruhi potensi bahaya dan prosedur evakuasi pada pesawat. Meskipun hidrogen memiliki keunggulan dalam hal ramah lingkungan, tantangan keselamatan dalam hal kebakaran dan evakuasi memerlukan perhatian khusus. Regulasi keselamatan penerbangan yang saat ini diterapkan pada pesawat berbahan bakar kerosene mungkin perlu direvisi untuk memenuhi kebutuhan keselamatan pesawat berbahan bakar hidrogen. Penelitian lebih lanjut dan uji lapangan disarankan untuk memverifikasi efektivitas prosedur evakuasi dalam konteks hidrogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, M. (2019). Conventional Aviation Fuel: Fire Hazards and Safety Regulations. *Aviation Fuel Safety Review*, 7(3), 200-215.
- Aviation Safety Journal. (2022). Revisiting Aircraft Evacuation Regulations for Alternative Fuel Aircraft. *Aviation Safety Regulations Review*, 9(4), 300-315.
- Clark, P., Zhang, H., & Green, M. (2020). Cryogenic Properties of Liquid Hydrogen and Implications for Storage and Transportation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(17), 10230-10245.
- Federal Aviation Administration (FAA). (2023). Federal Aviation Regulations (FAR) Part 25: Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes. FAA Publications.
- HySafe, International Association for Hydrogen Safety. (2022). Guidelines for Hydrogen Safety in Aviation Applications. HySafe Publications.

- International Air Transport Association (IATA). (2023). Sustainable Aviation Fuel: Hydrogen's Role in Future Aviation. IATA Publications.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2022). Annex 6 to the Convention on International Civil Aviation: Operation of Aircraft. ICAO Publications.
- Jones, A., & Brown, L. (2022). Fire Risks and Mitigation Strategies for Hydrogen-Powered Aircraft. *Journal of Aviation Safety*, 18(2), 90-102.
- Lee, S., et al. (2023). Health Risks Associated with Hydrogen Exposure in Aviation. *Journal of Occupational Health and Safety*, 12(2), 85-97.
- Lee, S., Kim, Y., & Park, J. (2021). Managing Cryogenic Hazards in Liquid Hydrogen Applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(20), 13400-13415.
- Smith, J. (2021). Hydrogen as a Fuel for Aviation: An Environmental Perspective. *Journal of Clean Aviation*, 15(3), 125-140.
- White, D., & Taylor, R. (2021). Fire Detection Challenges in Hydrogen-Fueled Aircraft. *Safety Engineering*, 14(1), 44-56.
- Williams, T., Chen, L., & Davis, P. (2022). Environmental Benefits of Hydrogen Fuel in Aviation: A Comparative Analysis with Kerosene. *Environmental Science Journal*, 10(4), 250-265.