

TANTANGAN KEBERLANJUTAN DAN INOVASI *GREEN TECHNOLOGY* DALAM INDUSTRI DIRGANTARA

Ida Farida¹, Kukuh Prasetyo², Eka Iriato Bhiftime³, Nick Holson Manggiring Silalahi⁴,
Ahmad Hasan Fauzi⁵

^{1,3,4}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, UNHAN RI

^{2,5}Departemen Teknik Dirgantara, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, ITB Bandung

^{1,3,4}ida.farida@idu.ac.id ; ^{2,5}kprasetyo1@yahoo.co.id

Abstrak — Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tantangan dan hambatan yang dihadapi dalam penerapan *green technology*. Industri penerbangan adalah salah satu sektor yang memberikan dampak signifikan terhadap lingkungan global, terutama dalam kontribusinya terhadap emisi gas rumah kaca. Industri penerbangan menyumbang sekitar 2-3% dari total emisi global, dimana sebagian besar emisi tersebut berasal dari bahan bakar fosil yang digunakan dalam pesawat terbang. Seiring dengan meningkatnya kesadaran tentang perubahan iklim, keberlanjutan dalam penerbangan menjadi hal yang sangat penting untuk didiskusikan. Artikel ini memberikan tinjauan mendalam mengenai *green technology* yang sedang berkembang dan diterapkan untuk mendukung keberlanjutan industri penerbangan, termasuk penggunaan *sustainable aviation fuel* (SAF), propulsi elektrik, dan teknologi material ringan. Selain itu, makalah ini juga mengkaji tantangan dan hambatan yang dihadapi dalam penerapan *green technology* tersebut, seperti masalah biaya produksi, infrastruktur, dan kebijakan pemerintah yang masih belum sepenuhnya mendukung adopsi teknologi ramah lingkungan. Dengan menganalisis literatur yang ada, termasuk hasil penelitian terbaru dan studi kasus dari perusahaan-perusahaan besar di sektor dirgantara, artikel ini bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif tentang bagaimana *green technology* dapat mengurangi dampak lingkungan dari sektor dirgantara, serta peluang dan tantangan yang ada untuk mencapai penerbangan yang berkelanjutan di masa depan.

Kata kunci: Dirgantara, *Green Technology*, Keberlanjutan, SAF, Emisi Karbon.

Abstrack — *This study aims to examine the challenges and obstacles faced in the implementation of green technology. The aviation industry is one of the sectors that has a significant impact on the global environment, especially in its contribution to greenhouse gas emissions. The aviation industry contributes around 2-3% of total global emissions, most of which come from fossil fuels used in aircraft. As awareness of climate change increases, sustainability in aviation has become a very important topic to discuss. This article provides an in-depth review of green technologies that are currently developing and being implemented to support the sustainability of the aviation*

industry, including the use of sustainable aviation fuel (SAF), electric propulsion, and lightweight material technology. In addition, this paper also examines the challenges and obstacles faced in the implementation of green technology, such as production costs, infrastructure, and government policies that still do not fully support the adoption of environmentally friendly technologies. By analyzing existing literature, including the latest research results and case studies from major companies in the aerospace sector, this article aims to provide a comprehensive overview of how green technology can reduce the environmental impact of the aerospace sector, as well as the opportunities and challenges that exist to achieve sustainable aviation in the future.

Keywords: Aerospace, Green Technology, Sustainability, SAF, Carbon Emissions.

1. PENDAHULUAN

Industri penerbangan global memainkan peran penting dalam mendukung kegiatan ekonomi dan mobilitas internasional. Namun, sektor ini juga merupakan salah satu kontributor utama terhadap perubahan iklim, dengan emisi gas rumah kaca yang signifikan dari pembakaran bahan bakar pesawat terbang. Emisi karbon dioksida (CO₂) dari sektor penerbangan diperkirakan mencapai sekitar 2-3% dari total emisi global, yang menempatkan penerbangan sebagai salah satu sektor yang paling sulit untuk melakukan dekarbonisasi (ATAG, 2020). Untuk mengurangi dampak lingkungan ini, berbagai terobosan *green technology* dan solusi berkelanjutan telah diperkenalkan dan terus dikembangkan dalam industri dirgantara.



Gambar 1.
Ilustrasi Dekarbonisasi oleh Airbus
Sumber: Airbus (2021)

Sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1 di atas (Airbus, 2021), *green technology* di sektor penerbangan mencakup beberapa inovasi utama, yaitu penggunaan *sustainable aviation fuel* (SAF) untuk menggantikan bahan bakar fosil, teknologi propulsi listrik yang menawarkan potensi besar untuk penerbangan jarak pendek dengan *zero emission*, serta penggunaan teknologi material ringan seperti komposit karbon yang penggunaannya semakin populer dalam desain pesawat terbang

modern dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi karbon secara signifikan.

Meskipun demikian, adopsi *green technology* di sektor dirgantara menghadapi berbagai tantangan, seperti biaya tinggi, keterbatasan infrastruktur, dan kebijakan yang belum sepenuhnya mendukung transisi menuju penerbangan berkelanjutan. Oleh karena itu, makalah ini bertujuan untuk mengeksplorasi perkembangan *green technology* dalam sektor dirgantara, serta tantangan yang dihadapi oleh industri ini dalam upayanya menuju keberlanjutan.

2. METODE PENELITIAN

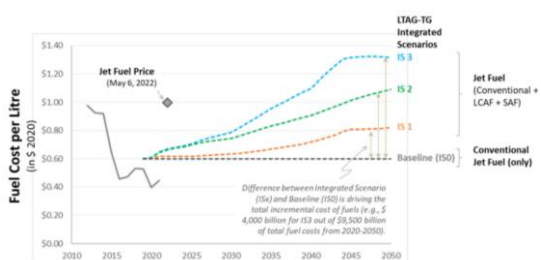
Dalam penelitian ini, tinjauan pustaka mencakup sumber-sumber terbaru yang membahas tiga teknologi utama yang mendukung keberlanjutan di industri dirgantara, yaitu *Sustainable Aviation Fuel* (SAF), propulsi elektrik, dan teknologi material ringan. Penelitian ini juga menelaah tantangan yang dihadapi dalam penerapan teknologi tersebut, termasuk aspek biaya, infrastruktur, dan kebijakan pemerintah. Sumber-sumber yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari publikasi internasional terkemuka seperti laporan ICAO, IATA, dan artikel-artikel dari produsen pesawat terkemuka seperti Boeing dan Airbus.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Penggunaan *Sustainable Aviation Fuel* (SAF)

Penggunaan *sustainable aviation fuel* (SAF) dalam sektor penerbangan terus berkembang pesat meskipun biaya produksinya yang lebih tinggi menjadi hambatan utama. SAF, yang terbuat dari

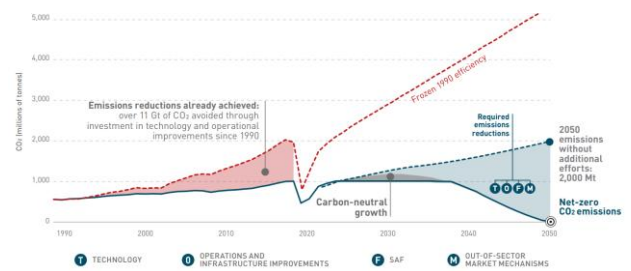
bahan baku terbarukan seperti alga, minyak nabati, dan sampah organik, memiliki potensi untuk mengurangi emisi karbon hingga 80% dibandingkan dengan bahan bakar fosil tradisional (IATA, 2023). Penerbangan uji coba yang dilakukan oleh maskapai besar seperti KLM, Lufthansa, dan United Airlines menunjukkan pengurangan emisi yang signifikan. Sebagai contoh, KLM melaporkan bahwa mereka berhasil mengurangi jejak karbon dalam penerbangan uji coba mereka menggunakan SAF sebanyak 40% dibandingkan bahan bakar konvensional (KLM, 2022). Namun, meskipun hasilnya positif, adopsi SAF secara luas terbatas oleh faktor-faktor seperti biaya produksi yang lebih tinggi, keterbatasan infrastruktur, dan kapasitas produksi yang masih terbatas. Biaya produksi SAF bisa tiga hingga lima kali lipat lebih mahal dibandingkan dengan bahan bakar jet konvensional, yang menyulitkan maskapai penerbangan untuk mengintegrasikannya dalam operasional sehari-hari (IATA, 2023). Gambar 2 berikut menunjukkan bahwa biaya produksi SAF jauh lebih tinggi dari bahan bakar konvensional, dan diprediksi akan terus mengalami peningkatan (ICAO, 2022). Hal ini merupakan salah satu tantangan yang dihadapi dunia penerbangan dalam menerapkan teknologi SAF.



Gambar 2.
Biaya Produksi SAF vs Bahan Bakar Konvensional
Sumber: ICAO Environmental Report, p.405 (2022)

Untuk mengatasi tantangan ini, banyak negara dan perusahaan yang mulai berinvestasi dalam riset dan pengembangan untuk meningkatkan efisiensi produksi SAF, dengan harapan dapat

menurunkan harga dan memperluas distribusinya. Beberapa kebijakan pemerintah yang mendukung, seperti insentif pajak dan subsidi untuk SAF juga dapat mempercepat adopsi teknologi ini. Sebagai tambahan, beberapa maskapai mulai berkomitmen untuk membeli SAF dalam jumlah besar untuk penggunaan jangka panjang, yang diharapkan dapat mendorong skala ekonomi dan menurunkan biaya produksi. Penggunaan SAF dalam dunia penerbangan yang telah dimulai pasca Covid-19, sekitar tahun 2021, serentak oleh banyak pelaku industri kedirgantaraan telah menunjukkan dampak yang cukup signifikan terhadap pengurangan emisi CO₂. Gambar 3 berikut merepresentasikan perbandingan emisi CO₂ antara SAF dengan bahan bakar konvensional. SAF menghasilkan pengurangan signifikan dalam emisi CO₂ dengan nilai penurunan rata-rata antara 70% hingga 80% (ATAG, 2023).



Gambar 3.
Penggunaan SAF dan Perannya dalam Upaya Dekarbonisasi
Global Sumber: ATAG Report, p.12 (2023)

3.2. Teknologi Propulsi Elektrik dan Penerbangan Zero Emission

Teknologi propulsi elektrik merupakan salah satu solusi untuk penerbangan zero emission dalam rangka dekarbonisasi, khususnya untuk penerbangan jarak pendek. Pesawat elektrik seperti Alice yang diproduksi oleh Eviation Aircraft, dirancang untuk mengangkut hingga sembilan penumpang dengan jarak tempuh sekitar 1.000 km, menunjukkan potensi yang mengesankan dalam mengurangi emisi karbon atau dekarbonisasi (Eviation, 2021). Demikian pula proyek E-Fan X yang digagas oleh Airbus bertujuan untuk mendemonstrasikan

kemungkinan penerbangan jarak pendek dengan *zero emission*, meskipun saat ini masih dalam tahap pengembangan dan uji coba (Airbus, 2023).



Gambar 4. E-Fan X
Sumber: Airbus Newsroom (2023)

Meskipun pesawat elektrik dapat mengurangi emisi secara signifikan, teknologi ini menghadapi tantangan besar dalam hal kapasitas baterai dan daya jangkau. Teknologi baterai saat ini memiliki keterbatasan dalam hal berat dan kapasitas energi, yang membatasi aplikasi praktisnya untuk penerbangan jarak jauh atau pesawat dengan kapasitas penumpang besar. Untuk mewujudkan penerbangan elektrik yang lebih luas, teknologi baterai harus mengalami peningkatan dalam hal kepadatan energi, durabilitas, dan waktu pengisian daya. Infrastruktur pengisian daya juga perlu diperluas untuk mendukung pesawat listrik yang lebih besar dan lebih banyak. Oleh karena itu, investasi dalam riset untuk baterai yang lebih efisien dan pengembangan infrastruktur yang memadai sangat penting untuk mempercepat adopsi teknologi ini (NASA, 2024).

3.3. Teknologi Material Ringan dan Efisiensi Bahan Bakar

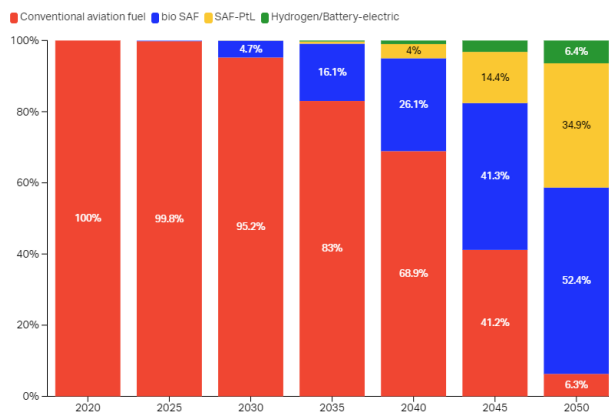
Material komposit seperti *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) telah terbukti menjadi inovasi yang sangat penting dalam desain pesawat modern. Boeing 787-Dreamliner dan Airbus A350 adalah contoh produk yang menerapkan teknologi material ringan ini untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi karbon secara signifikan. Penggunaan CFRP menggantikan logam

konvensional dalam struktur pesawat, mengurangi berat pesawat dan memungkinkan penghematan bahan bakar yang lebih besar. Efisiensi bahan bakar yang lebih baik tidak hanya mengurangi biaya operasional, tetapi juga memberikan kontribusi besar terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca dalam jangka panjang. Akan tetapi, penggunaan CFRP dan material komposit lainnya memiliki tantangan tersendiri, terutama terkait dengan biaya produksi yang lebih tinggi dan kompleksitas dalam proses manufaktur. CFRP memiliki *cost production* yang lebih besar dibandingkan material konvensional seperti aluminium, dan proses produksinya memerlukan teknologi canggih yang dapat meningkatkan biaya (Boeing, 2020). Selain itu, yang menjadi kendala dalam penerapannya secara luas dalam industri penerbangan adalah proses daur ulang material komposit ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, meskipun CFRP dapat memberikan penghematan jangka panjang, tantangan biaya dan keberlanjutan material ini masih harus diatasi untuk memaksimalkan manfaatnya.

3.4. Kolaborasi Industri dan Kebijakan Pemerintah

Penting untuk dicatat bahwa untuk mencapai keberlanjutan dalam industri penerbangan, kolaborasi antara berbagai pihak sangat diperlukan. Pemerintah, lembaga riset, dan industri penerbangan harus bekerja sama untuk menciptakan kebijakan yang mendukung pengembangan dan adopsi *green technology*. Kebijakan yang mendukung investasi dalam *green technology*, insentif pajak untuk penggunaan SAF, atau pembiayaan untuk riset dan pengembangan teknologi propulsi elektrik dapat mempercepat transisi menuju penerbangan berkelanjutan (European Commission, 2015). Selain itu, pembantu standar internasional dan kebijakan yang menyelaraskan regulasi antara negara-negara dapat membantu memper

cepat penerapan *green technology* secara global. Salah satu tantangan besar yang dihadapi oleh industri penerbangan adalah perbedaan dalam kebijakan antara negara-negara yang dapat menghambat upaya-upaya untuk mencapai keberlanjutan yang lebih besar. Oleh karena itu, diperlukan kerjasama global yang lebih erat untuk menciptakan kebijakan yang mendukung transisi ini secara lebih efektif.



Gambar 5.
Transisi Menuju *Green Energy* Sumber: IATA (2020)

Gambar 5 diatas menunjukkan perkiraan transisi kebutuhan bahan bakar dalam penerbangan, dari 100% bahan bakar konvensional menuju *green energy* pada tahun 2050 berdasarkan IATA *Roadmap*. IATA memperkirakan bahwa bahan bakar penerbangan konvensional akan turun dari 100% energi penerbangan pada tahun 2020 menjadi sekitar 6% pada tahun 2050. SAF yang terbuat dari *biomass* akan mendominasi, naik dari 5% pada tahun 2030 menjadi 52% pada tahun 2050, sementara hidrogen dan baterai akan menyumbang 6%. Dalam konteks ini, kebijakan memainkan peran penting. *Roadmap* yang telah dirancang oleh IATA ini memberikan gambaran kepada pembuat kebijakan terkait langkah-langkah spesifik yang bisa dilakukan untuk mempercepat transisi menuju *green technology* dan *sustainability* (IATA, 2024).

4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

4.1. Kesimpulan

Industri penerbangan menghadapi tantangan besar dalam mencapai keberlanjutan, namun perkembangan *green technology* seperti SAF, propulsi elektrik, dan teknologi material ringan menawarkan solusi yang signifikan untuk mengurangi dampak lingkungan. SAF, dengan potensi pengurangan emisi karbon yang tinggi, dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil jika diterapkan secara lebih luas. Namun, tantangan besar dalam hal biaya produksi dan distribusi SAF harus diatasi dengan lebih banyak investasi dan kebijakan yang mendukung. Pemerintah dan industri harus bekerja sama untuk menciptakan insentif yang mendorong produksi SAF dalam jumlah besar dan untuk menurunkan biaya produksinya.

4.2. Rekomendasi

Tren Masa Depan dan Tantangan yang Dihadapi. Melihat ke depan, *green technology* dalam industri penerbangan diperkirakan akan terus berkembang, tetapi tantangan besar tetap ada. Salah satu tantangan utama adalah kebutuhan untuk mengatasi ketergantungan industri penerbangan pada bahan bakar fosil. Meskipun SAF dan propulsi elektrik menawarkan potensi besar untuk mengurangi emisi, masalah biaya dan infrastruktur yang terbatas masih menjadi kendala utama dalam penerapan teknologi ini secara luas. Oleh karena itu, pengembangan berbagai teknologi alternatif harus berjalan seiring untuk menciptakan solusi yang lebih berkelanjutan bagi industri penerbangan. Selain itu, perkembangan teknologi bahan bakar alternatif lainnya, seperti hidrogen, juga harus diperhitungkan. Hidrogen memiliki potensi untuk menjadi sumber energi yang sangat bersih dalam penerbangan, namun masih banyak tantangan terkait dengan penyimpanan dan distribusinya. Oleh karena itu, pengembangan berbagai teknologi

alternatif harus berjalan seiring untuk menciptakan solusi yang lebih berkelanjutan bagi industri penerbangan. Secara keseluruhan, untuk mencapai penerbangan yang lebih “hijau” dan berkelanjutan, dibutuhkan upaya besar dari seluruh pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, perusahaan penerbangan, produsen pesawat, dan masyarakat.

5. REFERENSI

- [1] Air Transport Action Group (ATAG). Blueprint for A Green Recovery. 2020 [cited 2024 Dec 19]. Available from: <https://www.atag.org/resources/>
- [2] Airbus. Decarbonisation. 2021 [cited 2024 Dec 19]. Available from: <https://www.airbus.com/sustainability>
- [3] IATA. The Role of Sustainable Aviation Fuel in Decarbonizing Aviation. 2023 [cited 2024 Dec 19]. Available from: <https://www.iata.org/en/pressroom>
- [4] KLM. Sustainable Aviation Fuel (SAF). 2022 [cited 2024 Dec 19]. Available from: <https://www.klm.co.id/information/sustainability>
- [5] ICAO. Environmental Report-Innovation for A Green Transition. Montreal; 2022.
- [6] ATAG. Beginner’s Guide to Sustainable Aviation Fuel. Geneva; 2023.
- [7] Eviation Aircraft. Revolutionizing Short-Haul Flights. 2021 [cited 2024 Dec 19]. Available from: <https://www.eviation.com/aircraft>
- [8] Airbus. Our Decarbonisation Journey Continues: Looking Beyond E-Fan X. 2023 [cited 2024 Dec 19]. Available from: <https://www.airbus.com/en/newsroom>
- [9] NASA. Electric Aircraft and Future Battery Technologies. 2024 [cited 2024 Dec 19]. Available from: <https://www.nasa.gov/aeronautics/green-aero-tech>
- [10] Boeing. Fact Sheet-Airplane and Carbon Fiber Recycling. 2020
- [11] European Commission. An Aviation Strategy for Europe. Brussels; 2015.
- [12] IATA Sustainability & Economics. Policies Are Critical for Aviation’s Energy Transition. 2024. Available from: <https://www.iata.org/economics>