



Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran
<http://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jrpp>
 Volume 7 Nomor 2, 2024
 P-2655-710X e-ISSN 2655-6022

Submitted : 28/02/2024
 Reviewed : 26/02/2024
 Accepted : 06/03/2024
 Published : 12/03/2024

Wahyu Dwi Agustini¹
 Rivandi Hafieza²
 Fawwaz Yusa Gifari³
 Nawang Kalbuana⁴

DAMPAK EMISI KARBON PESAWAT UDARA: TANTANGAN DAN SOLUSI UNTUK PENERBANGAN BERKELANJUTAN

Abstrak

Penelitian ini menyoroti masalah tingginya tingkat emisi karbon yang dihasilkan oleh pesawat udara saat berada di parking stand di Terminal 3 Bandar Udara Soekarno Hatta. Data yang dikumpulkan menunjukkan bahwa emisi karbon yang berasal dari pesawat yang terparkir memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan sekitarnya dan ekosistem yang ada. Berbagai faktor seperti jenis pesawat, durasi parkir, dan frekuensi penerbangan berkontribusi pada tingkat emisi karbon yang tercatat. Dalam upaya mengurangi dampak negatif ini, beberapa solusi telah diajukan. Pertama, peningkatan efisiensi bahan bakar yang dapat dicapai melalui pengembangan teknologi mesin yang lebih efisien serta optimasi pemakaian bahan bakar saat pesawat berada di parking stand. Kedua, penggunaan bahan bakar alternatif seperti biofuel telah diidentifikasi sebagai langkah yang berpotensi mengurangi emisi karbon secara signifikan. Ketiga, perbaikan pada efisiensi sistem parkir pesawat dengan mengurangi waktu yang diperlukan untuk parkir serta memastikan bahwa pesawat parkir dengan aman dan efisien. Namun, implementasi solusi-solusi ini membutuhkan kerjasama yang erat antara industri penerbangan, pemerintah, dan masyarakat. Kolaborasi yang kuat ini diperlukan untuk memastikan bahwa tindakan yang diambil untuk mengurangi emisi karbon pesawat udara tidak hanya efektif, tetapi juga berkelanjutan dalam jangka panjang. Penelitian ini menegaskan pentingnya adopsi penerbangan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan sebagai langkah yang sangat diperlukan dalam menghadapi tantangan lingkungan global yang semakin mendesak.

Kata Kunci: Emisi Karbon, Pesawat Udara, Parking Stand; Efisiensi; Lingkungan

Abstract

This research highlights the problem of high levels of carbon emissions produced by aircraft while in the parking stand at Terminal 3 of Soekarno Hatta Airport. The data collected shows that carbon emissions from parked aircraft have a significant impact on the surrounding environment and existing ecosystems. Various factors such as aircraft type, parking duration, and flight frequency contribute to the level of carbon emissions recorded. In an effort to reduce these negative impacts, several solutions have been proposed. Firstly, improved fuel efficiency which can be achieved through the development of more efficient engine technology as well as optimization of fuel usage while the aircraft is in the parking stand. Secondly, the use of alternative fuels such as biofuels has been identified as a measure that has the potential to significantly reduce carbon emissions. Thirdly, improvements to the efficiency of aircraft parking systems by reducing the time required to park and ensuring that aircraft are parked safely and efficiently. However, the implementation of these solutions requires close co-operation between the aviation industry, government and society. This strong collaboration is necessary to ensure that actions taken to reduce aircraft carbon emissions are not only effective, but also sustainable in the long term. This research confirms the importance of adopting sustainable and environmentally-friendly aviation as an indispensable step in the face of increasingly pressing global environmental challenges.

Keywords: Carbon Emissions, Aircraft, Parking Stand; Efficiency; Environment

¹Progam Studi Teknik Bangunan Landasan, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

²Progam Studi Penerbang, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

³Progam Studi Teknik Navigasi Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

⁴Progam Studi Pertolongan Kecelakaan Pesawat, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

email: wahyuagustini@ppicurug.ac.id¹, rivandi.hafieza@ppicurug.ac.id², fawwazyusa@ppicurug.ac.id³, nawang.kalbuana@ppicurug.ac.id⁴.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan signifikan dalam industri penerbangan dimulai sejak tahun 1940, ketika aktivitas penerbangan meningkat secara drastis (Lee et al., 2010). Pada tahun 1944, Konvensi Penerbangan Sipil Internasional (dikenal sebagai Konvensi Chicago) ditandatangani oleh 52 negara, sementara Organisasi Penerbangan Sipil Internasional (ICAO) didirikan pada tahun 1947 untuk mengatur standar dan peraturan yang diperlukan, menjadi bagian dari Perserikatan Bangsa-Bangsa pada tahun yang sama (ICAO, 2013c, 2013e). Data menunjukkan pertumbuhan lalu lintas penumpang dan angkutan udara yang signifikan sejak 1970-an, diukur dengan *Revenue Passenger Kilometres* (RPK) dan *Freight-Tonne-Kilometer* (FTK) secara berturut-turut. Laporan International Transport Forum (ITF) di Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) menunjukkan bahwa antara tahun 1999 dan 2008, pertumbuhan perjalanan udara penumpang terjadwal, diukur dalam RPK, mencapai 4,8% per tahun, sementara angkutan udara, diukur dalam FTK, tumbuh sebesar 4,1% per tahun (ITF, 2012).

Krisis keuangan global tahun 2008 dan resesi yang menyertainya mengurangi tingkat pertumbuhan lalu lintas udara (ICAO, 2010c). Namun, proyeksi dari ITF menunjukkan bahwa pertumbuhan sektor ini masih akan berlanjut dengan cepat dalam beberapa dekade mendatang (ITF, 2012), pandangan ini juga disetujui oleh berbagai pemangku kepentingan industri utama (ICAO, 2010c; IATA, 2014; Airbus, 2013; Boeing, 2012), yang memperkirakan pertumbuhan RPK dan FTK sekitar 4 hingga 5%. Diperkirakan jumlah pesawat yang beroperasi akan meningkat dua kali lipat dari 19.890 pada tahun 2011 menjadi 39.780 pada tahun 2031 (Boeing).

Industri penerbangan global saat ini mengonsumsi lebih dari 5 juta barel minyak per hari (IATA, 2013). Emisi CO₂ dari mesin pesawat sebanding dengan bahan bakar yang digunakan dengan faktor sekitar 3,15 (Lee et al., 2009). CO₂ adalah gas rumah kaca (GRK) antropogenik yang paling signifikan (IPCC, 2007), dan merupakan kontributor utama terhadap total emisi CO₂ yang dihasilkan oleh pesawat bertenaga listrik (Atma et al., 2013). Kontribusi penerbangan sipil terhadap total emisi CO₂ antropogenik sekitar 2,5%, dan diperkirakan akan semakin meningkat jika pertumbuhan sektor ini terus berlanjut (Bows dan Anderson, 2007). Emisi non-CO₂ dari penerbangan, seperti uap air, oksida nitrogen (NO_x), jelaga, dan sulfat, juga memiliki dampak signifikan terhadap iklim. Meskipun dampaknya kurang dipahami dibandingkan dengan CO₂, fokus industri penerbangan adalah pada pengurangan emisi CO₂ dari pesawat terbang (Abrantes, Ferreira, Magalhães, Costa, & Silva, 2024; Aminzadegan, Shahriari, Mehranfar, & Abramović, 2022; Baumeister, Leung, & Ryley, 2020; Grampella, Lo, Martini, & Scotti, 2017; Grote, Williams, & Preston, 2014; Xiong et al., 2023).

Emisi karbon oleh pesawat udara merupakan kontributor utama terhadap perubahan iklim global. Proses pembakaran bahan bakar aviasi selama penerbangan menghasilkan emisi gas karbon dioksida (CO₂), yang merupakan salah satu gas rumah kaca utama. Penelitian dalam bidang ini telah memberikan wawasan mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah emisi karbon yang dihasilkan oleh pesawat udara (Abrantes, Ferreira, Silva, & Costa, 2021; Bravo, Vieira, & Ferrer, 2022; Ekici, Ayar, & Hikmet Karakoc, 2023; Kiesewetter et al., 2023). Studi oleh Smith dan Stedman (2019) menyelidiki pengaruh teknologi mesin pesawat terhadap emisi karbon. Mereka menemukan bahwa mesin yang lebih efisien dapat menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah per satuan jarak terbang. Selain itu, desain aerodinamis pesawat juga berperan penting dalam menentukan efisiensi bahan bakar dan emisi karbon (Cao, Tang, Gao, You, & Zhang, 2023; Edwards, Dixon-Hardy, & Wadud, 2016; Graham, Hall, & Vera Morales, 2014; Velaz-Acera, Álvarez-García, & Borge-Diez, 2023).

Faktor operasional juga berdampak signifikan terhadap emisi karbon. Penelitian oleh Brown dan Jones (2018) menunjukkan bahwa kecepatan penerbangan dan rute penerbangan dapat memengaruhi jumlah emisi karbon yang dihasilkan oleh pesawat udara. Selain itu, kondisi cuaca seperti kelembaban udara dan kecepatan angin juga dapat mempengaruhi efisiensi bahan bakar dan emisi karbon (Chen et al., 2021). Di samping faktor teknis dan operasional, faktor-faktor non-teknis juga memainkan peran penting dalam mengendalikan emisi karbon dari industri penerbangan. Kebijakan regulasi seperti Emissions Trading System (ETS) dan CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) telah diperkenalkan untuk mengurangi emisi karbon dari penerbangan (ICAO, 2019).

Penelitian sebelumnya menyoroti berbagai faktor, yang mungkin memiliki yang mungkin berdampak pada hubungan antara industri penerbangan dan emisi CO₂, seperti bahan bangunan (Lee et al., 2021), bahan bakar minyak (Hu et al., 2018), kemajuan teknologi (Turgut et al., 2018), dan perubahan kebijakan (Fageda dan Teixido, 2022). Dengan memahami dampak operasional bandara, diharapkan kita dapat mengidentifikasi solusi yang lebih efektif untuk mengurangi emisi karbon dalam konteks industri penerbangan. Pengoperasian bandara meningkatkan rute penerbangan dan meningkatkan kapasitas transportasi. Namun, bandara juga menimbulkan masalah lingkungan, seperti kebisingan dan emisi karbon. Bahan bangunan arsitektur bandara dan bahan bakar pesawat yang terbakar menyumbang sejumlah karbon dioksida. Mengingat dampak lingkungan dari industri penerbangan, sebuah fenomena yang digambarkan sebagai "*flygskam*" atau rasa malu dalam penerbangan dikembangkan di Eropa (Chiambaretto et al., 2021).

Pengoperasian bandara dapat menjadi sumber utama emisi karbon, terutama dari transportasi penumpang dan pembakaran bahan bakar pesawat (Becken & Shuker, 2019; Seymour et al., 2020). Meskipun pertumbuhan ukuran pesawat dan jarak rute dapat meningkatkan total emisi, tetapi secara relatif dapat mengurangi emisi per kilometer kursi yang tersedia (Lo et al., 2020). Pesawat komersial saat ini telah diperkirakan mengeluarkan rata-rata 90 gram gas buang per penumpang per kilometer pada tahun 2019 (International Council on Clean Transportation /ICCT).

Penelitian saat ini telah mengeksplorasi berbagai bahan bakar penerbangan alternatif, seperti bahan bakar nabati dan sintetis, yang dapat menghasilkan lebih sedikit gas rumah kaca (GRK) dibandingkan dengan bahan bakar jet konvensional (O'Connell et al., 2019; Staples et al., 2018; Janic, 2018). Penggunaan bahan bakar alami yang lebih bersih atau pengembangan teknologi dan peralatan yang lebih efisien dapat membantu mengurangi emisi karbon (Wen et al., 2020).

Selain itu, teknologi penerbangan yang lebih maju dan sistem manajemen operasi bandara yang canggih juga dapat berkontribusi dalam mengurangi emisi karbon (Turgut et al., 2018). Penelitian telah menunjukkan bahwa hubungan antara sudut lintasan penerbangan turun dan emisi gas pesawat dapat dipelajari, dengan sudut lintasan yang lebih besar cenderung menyebabkan tingkat emisi CO dan HC yang lebih tinggi (Turgut et al., 2018). Pendekatan untuk merancang rute lepas landas pesawat yang optimal juga dapat membantu menyeimbangkan faktor-faktor seperti konsumsi bahan bakar dan kebisingan (Ho-Huu et al., 2018). Selain itu, optimisasi sistem transportasi penanganan bagasi di bandara juga telah terbukti dapat mengurangi biaya dan emisi karbon (Lodewijks et al., 2021).

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif deskriptif. Metode penelitian kualitatif adalah salah satu metode penelitian yang digunakan untuk mendapatkan pemahaman mendalam tentang suatu fenomena atau masalah dari sudut pandang subjek yang diteliti (Adnan, Praptiningsih, & Kalbuana, 2024; Arnas, Arti, & Kalbuana, 2024; Arti, Widiarto, Endrawijaya, Kalbuana, & Anggraini, 2024; Hendriarto, Mursidi, Kalbuana, Aini, & Aslan, 2021; Nawang Kalbuana, 2024; Nawang Kalbuana & Kurnianto, 2024; Kardi, Pamuraharjo, Kalbuana, & Kurnianto, 2023; Kurniawan et al., 2023; Lamtiar, Yoga, & Kalbuana, 2024; Pamuraharjo, Kardi, Kalbuana, & Abdusshomad, 2023; Sundoro, Kalbuana, & Cahyadi, 2024; Tjahjani, Tanoto, & Kalbuana, 2024). Metode kualitatif digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan pemahaman tentang pengaruh penggunaan pesawat terhadap emisi karbon dioksida di bandara tersebut. Metode penelitian kualitatif deskriptif dapat digunakan untuk menggambarkan karakteristik, sifat, dan keadaan emisi karbon di Bandara Soekarno Hatta.

Peneliti dapat melakukan observasi langsung dan analisis dokumentasi terhadap data dan laporan yang tersedia (Hastomo, Bayangkari Karno, Kalbuana, Meiriki, & Sutarno, 2021; Jannah et al., 2020; N. Kalbuana et al., 2021; N Kalbuana et al., 2021; Nawang Kalbuana, Kusiyah, et al., 2022; Nawang Kalbuana, Taqi, Uzliawati, & Ramdhani, 2023, 2022; Supriatiningsih, Safri, Suryaningsih, Husadha, & Kalbuana, 2023; Taqi, Kalbuana, Abbas, & Mayyizah, 2024; Uzliawati, Kalbuana, et al., 2023; Uzliawati, Kalbuana, & Utami, 2024; Uzliawati, Taqi, Muchlish, & Kalbuana, 2023) untuk memahami proses pengukuran dan perhitungan emisi karbon pesawat udara di Terminal 3 Bandara Soekarno Hatta. Proses

penelitian dimulai dengan pengumpulan data yang bersifat deskriptif dan interpretatif, seperti data pengukuran emisi karbon pesawat udara di Terminal 3 Bandar Udara Soekarno Hatta. Data yang terkumpul kemudian dianalisis secara induktif untuk menghasilkan deskripsi yang akurat dan mendalam mengenai emisi karbon pesawat udara di Terminal 3 Bandar Udara Soekarno Hatta. Hasil dari penelitian kualitatif deskriptif ini dapat digunakan sebagai data dasar untuk menghitung jumlah emisi karbon pesawat udara di Terminal 3 Bandar Udara Soekarno Hatta. Selain itu, hasil penelitian juga dapat digunakan untuk mengembangkan hipotesis atau model teoritis pada penelitian selanjutnya mengenai dampak lingkungan dari emisi karbon pesawat udara di terminal-bandara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Terminal 3 Bandar Udara Soekarno Hatta merupakan salah satu terminal penerbangan di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta, Jakarta, Indonesia. Terminal ini dikenal sebagai terminal penerbangan utama dan memiliki fasilitas modern dan lengkap untuk memenuhi kebutuhan penumpang dan penerbangan. Terminal 3 Bandar Udara Soekarno Hatta memiliki beberapa parking stand yang dapat menampung berbagai jenis pesawat udara. Fasilitas ini memastikan bahwa pesawat udara dapat parkir dengan aman dan memastikan bahwa pemeliharaan pesawat dapat dilakukan dengan efisien. Parking stand juga memastikan bahwa pesawat udara siap untuk beroperasi saat diperlukan, memastikan bahwa penerbangan berlangsung dengan aman dan efisien. Data yang diperoleh pada penelitian ini merupakan data penerbangan yang terjadi di Terminal 3 Bandara Soekarno Hatta pada bulan Januari tahun 2023 selama 20 hari data tipe Pesawat udara yang beroperasi pada Terminal 3 Bandara Soekarno Hatta.

Tabel. 1. Data Penerbangan Terminal 3

| Date | Flight | Fuel Type | Amount of fuel uses | Fuel Conversion Factors | CO2 Emissions |
|---------|--------|-----------|---------------------|-------------------------|----------------|
| 13 | 410 | Jet-A1 | 271,830.00 | 3.16 | 352,182,948.00 |
| 14 | 424 | Jet-A1 | 281,112.00 | 3.16 | 376,645,102.08 |
| 15 | 441 | Jet-A1 | 292,383.00 | 3.16 | 407,453,253.48 |
| 16 | 431 | Jet-A1 | 285,753.00 | 3.16 | 389,184,155.88 |
| 17 | 397 | Jet-A1 | 263,211.00 | 3.16 | 330,203,463.72 |
| 18 | 437 | Jet-A1 | 289,731.00 | 3.16 | 400,095,332.52 |
| 19 | 453 | Jet-A1 | 300,339.00 | 3.16 | 429,929,271.72 |
| 20 | 475 | Jet-A1 | 314,925.00 | 3.16 | 472,702,425.00 |
| 21 | 455 | Jet-A1 | 301,665.00 | 3.16 | 433,733,937.00 |
| 22 | 424 | Jet-A1 | 281,112.00 | 3.16 | 376,645,102.08 |
| 23 | 447 | Jet-A1 | 296,361.00 | 3.16 | 418,615,839.72 |
| 24 | 418 | Jet-A1 | 277,134.00 | 3.16 | 366,060,757.92 |
| 25 | 434 | Jet-A1 | 287,742.00 | 3.16 | 394,620,888.48 |
| 26 | 433 | Jet-A1 | 287,079.00 | 3.16 | 392,804,454.12 |
| 27 | 391 | Jet-A1 | 259,233.00 | 3.16 | 320,297,925.48 |
| 28 | 427 | Jet-A1 | 283,101.00 | 3.16 | 381,993,841.32 |
| 29 | 452 | Jet-A1 | 299,676.00 | 3.16 | 428,033,224.32 |
| 30 | 425 | Jet-A1 | 281,775.00 | 3.16 | 378,423,825.00 |
| 31 | 426 | Jet-A1 | 282,438.00 | 3.16 | 380,206,738.08 |
| Average | | | | | 391,043,815.05 |

Tabel 2. Tipe pesawat yang beroperasi di Terminal 3

| No | Aircraft Type | Average Fuel Consumption |
|--------------------------|----------------|--------------------------|
| 1 | Airbus330-200 | 400 |
| 2 | Airbus 330-300 | 600 |
| 3 | Boeing 777 | 990 |
| Average Fuel Consumption | | 663.3333333 |

Perbedaan dalam tingkat emisi karbon pesawat saat berada di parking stand di Terminal 3 Bandar Udara Soekarno Hatta bisa disebabkan oleh beberapa faktor yang bervariasi. Pertama, jumlah penerbangan yang lebih tinggi dapat memperbesar jumlah pesawat yang terparkir secara bersamaan, yang pada gilirannya meningkatkan emisi karbon secara keseluruhan. Kedua, kondisi cuaca yang berbeda juga berpengaruh. Misalnya, cuaca yang lebih panas atau dingin dapat memengaruhi performa mesin pesawat dan konsumsi bahan bakar, yang akhirnya memengaruhi jumlah emisi karbon yang dihasilkan.

Selain itu, perbedaan dalam operasional bandara dan pesawat pada bulan tertentu juga dapat berkontribusi pada variasi dalam emisi karbon. Misalnya, perubahan dalam kebijakan operasional bandara atau metode pengoperasian pesawat yang berbeda-beda dapat memengaruhi penggunaan bahan bakar dan, akibatnya, emisi karbon. Namun, metode pengukuran emisi karbon pesawat saat parkir mungkin memiliki keterbatasan tertentu yang perlu diperhatikan. Metode tersebut mungkin tidak dapat mengidentifikasi secara tepat semua faktor yang berkontribusi pada emisi karbon, seperti kontribusi dari sumber energi yang digunakan oleh pesawat saat parkir. Selain itu, ketepatan dan akurasi pengukuran juga dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk teknologi yang digunakan dan keahlian operator yang terlibat.

Dengan pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor yang memengaruhi emisi karbon pesawat saat parkir, kita dapat mengambil langkah-langkah yang lebih efektif dalam mengurangi dampaknya. Ini termasuk meningkatkan efisiensi operasional pesawat dan bandara, memperkenalkan teknologi yang lebih ramah lingkungan, dan mendorong penggunaan bahan bakar alternatif dengan emisi karbon lebih rendah. Kerja sama antara industri penerbangan, pemerintah, dan masyarakat juga penting untuk mengimplementasikan solusi-solusi ini secara efektif dan berkelanjutan.

Emisi karbon yang dihasilkan oleh pesawat saat berada di parking stand di Terminal 3 Bandar Udara Soekarno Hatta cukup tinggi dan berdampak besar pada lingkungan sekitarnya. Faktor-faktor seperti jenis pesawat yang digunakan, durasi parkir, dan frekuensi penerbangan memainkan peran penting dalam menentukan tingkat emisi karbon. Jenis pesawat yang berbeda memiliki karakteristik yang berbeda pula dalam hal konsumsi bahan bakar dan emisi karbon. Pesawat yang lebih besar atau lebih tua mungkin memiliki tingkat emisi karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan pesawat yang lebih kecil atau lebih baru. Selain itu, durasi parkir pesawat juga mempengaruhi jumlah emisi karbon yang dihasilkan. Semakin lama pesawat parkir, semakin besar jumlah bahan bakar yang digunakan, dan akibatnya, semakin tinggi emisi karbonnya. Frekuensi penerbangan juga berkontribusi pada tingkat emisi karbon, dengan jumlah penerbangan yang lebih tinggi cenderung meningkatkan total emisi karbon dari pesawat.

Pengembangan teknologi baru untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar pesawat adalah langkah penting dalam mengurangi emisi karbon di sektor penerbangan. Ini melibatkan berbagai aspek, mulai dari desain mesin pesawat hingga penggunaan material yang lebih ringan. Salah satu pendekatan yang sedang dipelajari adalah penggunaan mesin yang lebih efisien dalam mengkonversi bahan bakar menjadi tenaga, sehingga menghasilkan lebih sedikit emisi karbon per unit tenaga yang dihasilkan.

Selain itu, pengembangan teknologi biofuel juga menjadi fokus utama dalam upaya mengurangi emisi karbon pesawat. Biofuel merupakan bahan bakar yang diproduksi dari biomassa, seperti limbah pertanian atau alga laut, yang dapat menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah daripada bahan bakar fosil konvensional. Namun, untuk menerapkan biofuel secara luas dalam industri penerbangan, diperlukan penelitian dan pengembangan teknologi yang lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi produksi dan ketersediaannya secara massal.

Selain aspek teknologi, pengurangan emisi karbon juga memerlukan perubahan dalam kebijakan dan regulasi penerbangan. Insentif pajak dan subsidi untuk penggunaan biofuel, serta pengaturan standar emisi yang lebih ketat, dapat mendorong industri penerbangan untuk beralih ke sumber energi yang lebih ramah lingkungan.

Dalam hal infrastruktur, peningkatan efisiensi sistem parkir pesawat dan operasional bandara secara keseluruhan juga dapat membantu mengurangi emisi karbon. Ini meliputi penggunaan sistem parkir otomatis yang mengurangi waktu idle pesawat, serta investasi dalam teknologi yang memungkinkan penggunaan listrik darat untuk menggantikan mesin pesawat

saat berada di darat, yang dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi karbon secara signifikan.

Kolaborasi antara industri penerbangan, pemerintah, dan lembaga penelitian juga penting dalam memajukan upaya pengurangan emisi karbon. Dengan kerja sama yang erat, inovasi teknologi, perubahan kebijakan, dan pengembangan infrastruktur dapat dilakukan secara terintegrasi untuk mencapai target pengurangan emisi karbon secara efektif dalam industri penerbangan.

Peningkatan efisiensi sistem parkir pesawat tidak hanya membantu mengurangi emisi karbon, tetapi juga dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meningkatkan produktivitas bandara secara keseluruhan. Metode seperti penggunaan sistem parkir otomatis atau pengaturan jadwal penerbangan yang lebih efisien dapat mengurangi waktu idle pesawat di tempat parkir, yang pada gilirannya mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi karbon yang dihasilkan. Selain itu, memastikan bahwa pesawat parkir dengan aman dan efisien juga dapat membantu mencegah pemborosan bahan bakar, mengurangi biaya operasional bagi maskapai penerbangan, dan meningkatkan keselamatan penerbangan.

Peningkatan efisiensi terminal penerbangan juga memiliki dampak besar dalam mengurangi emisi karbon. Ini melibatkan penggunaan teknologi hijau, seperti sistem pencahayaan dan pendingin yang hemat energi, serta penggunaan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan listrik bandara. Selain itu, pengoptimalan operasional terminal, seperti pengaturan lalu lintas yang lebih baik dan penggunaan alat pengangkut barang yang lebih efisien, juga dapat membantu mengurangi emisi karbon secara keseluruhan.

Namun, implementasi solusi-solusi ini memerlukan kolaborasi erat antara industri penerbangan, pemerintah, dan masyarakat. Industri penerbangan perlu berinvestasi dalam teknologi dan infrastruktur yang lebih ramah lingkungan, sementara pemerintah perlu memberikan insentif dan regulasi yang mendukung pengembangan dan penerapan solusi berkelanjutan. Sementara itu, masyarakat perlu didorong untuk mengadopsi perilaku yang lebih ramah lingkungan, seperti menggunakan transportasi umum atau mengurangi konsumsi energi di bandara. Hanya dengan kerjasama yang erat di antara semua pihak, tindakan yang diambil dapat menjadi efektif dan berkelanjutan dalam jangka panjang, menjaga keberlanjutan penerbangan dan melindungi lingkungan untuk generasi mendatang.

SIMPULAN

Penelitian ini menyoroti tingginya emisi karbon yang dihasilkan oleh pesawat udara saat berada di parking stand di Terminal 3 Bandar Udara Soekarno Hatta. Data menunjukkan bahwa emisi karbon pesawat udara yang terparkir cukup signifikan, dengan berbagai faktor seperti jenis pesawat, durasi parkir, dan frekuensi penerbangan berkontribusi pada tingkat emisi tersebut. Perbedaan dalam emisi karbon juga dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti jumlah penerbangan, kondisi cuaca, atau operasional bandara dan pesawat pada bulan yang bersangkutan. Solusi untuk mengurangi emisi karbon pada saat pesawat berada di parking stand meliputi peningkatan efisiensi bahan bakar melalui pengembangan teknologi mesin yang lebih efisien, penggunaan bahan bakar alternatif seperti biofuel, dan peningkatan efisiensi sistem parkir pesawat. Selain itu, kolaborasi antara industri penerbangan, pemerintah, dan masyarakat sangat penting dalam menerapkan tindakan yang efektif untuk mengurangi emisi karbon pesawat udara dan menjaga lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrantes, I., Ferreira, A. F., Magalhães, L. B., Costa, M., & Silva, A. (2024). The impact of revolutionary aircraft designs on global aviation emissions. *Renewable Energy*, 223(December 2023), 119937. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.119937>
- Abrantes, I., Ferreira, A. F., Silva, A., & Costa, M. (2021). Sustainable aviation fuels and imminent technologies - CO₂ emissions evolution towards 2050. *Journal of Cleaner Production*, 313(February). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127937>
- Adnan, T., Praptiningsih, N., & Kalbuana, N. (2024). Analyzing The Impact Of Research And Community Service Programs Of Higher Education Institutions On Local Economic Empowerment In Indonesia: A Literature Review Study. *International Journal of Teaching and Learning (INJOTEL)*, 2(1), 210–222.

- Airbus, 2013. Global Market Forecast e Future Journeys 2013 2032. Airbus, Blagnac, France.
- Aminzadegan, S., Shahriari, M., Mehranfar, F., & Abramović, B. (2022). Factors affecting the emission of pollutants in different types of transportation: A literature review. *Energy Reports*, 8, 2508–2529. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.161>
- Arnas, Y., Arti, E. S., & Kalbuana, N. (2024). Analisis Five Forces Porter dalam Evaluasi Produktivitas Penelitian Dosen di Perguruan Tinggi Kedinasan. *Journal of Education Research*, 5(1), 158–169.
- Arti, E. S., Widiarto, H., Endrawijaya, I., Kalbuana, N., & Anggraini, D. (2024). Analisa Kebutuhan Kompetensi Lulusan PPIC terhadap Perusahaan Penerbangan. *Journal on Education*, 06(02), 13843–13851.
- Atma, P., Kadambari, L., Kamthe, A., Sethi, V., 2013. Advanced novel jet engines emission modelling to predict NOx & CO2 by physics based model. In: 49th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 14e17 July 2013. American Institute of Aeronautics and Astronautics, San Jose, USA
- Baumeister, S., Leung, A., & Ryley, T. (2020). The emission reduction potentials of First Generation Electric Aircraft (FGEA) in Finland. *Journal of Transport Geography*, 85(April), 102730. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102730>
- Becken, S., Shuker, J., 2019. A framework to help destinations manage carbon risk from aviation emissions. *Tourism Manag.* 71, 294–304. <https://doi:10.1016/j.tourman.2018.10.023>.
- Boeing, 2012. Current Market Outlook. Boeing, Seattle, USA.
- Bows, A., Anderson, K., 2007. Policy clash: can projected aviation growth be reconciled with the UK government's 60% carbon-reduction target? *Transp.Policy* 14 (2), 103e110
- Bravo, A., Vieira, D., & Ferrer, G. (2022). Emissions of future conventional aircrafts adopting evolutionary technologies. *Journal of Cleaner Production*, 347(February), 131246. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131246>
- Cao, F., Tang, T. Q., Gao, Y., You, F., & Zhang, J. (2023). Calculation and analysis of new taxiing methods on aircraft fuel consumption and pollutant emissions. *Energy*, 277(April), 127618. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127618>
- Chiambaretto, P., Mayenc, E., Chappert, H., Engsig, J., Fernandez, A.-S., Le Roy, F., 2021. Where does flygskam come from? The role of citizens' _lack of knowledge of the environmental impact of air transport in explaining the development of flight shame. *J. Air Transport. Manag.* 93. <https://doi:10.1016/j.jairtraman.2021.102049>
- Edwards, H. A., Dixon-Hardy, D., & Wadud, Z. (2016). Aircraft cost index and the future of carbon emissions from air travel. *Applied Energy*, 164(2016), 553–562.
- Ekici, S., Ayar, M., & Hikmet Karakoc, T. (2023). Fuel-saving and emission accounting: An airliner case study for green engine selection. *Energy*, 282(August), 128922.
- Fageda, X., Teixido, J.J., 2022. Pricing carbon in the aviation sector: evidence from the European emissions trading system. *J. Environ. Econ. Manag.* 111.
- Graham, W. R., Hall, C. A., & Vera Morales, M. (2014). The potential of future aircraft technology for noise and pollutant emissions reduction. *Transport Policy*, 34(2014), 36–51.
- Grampella, M., Lo, P. L., Martini, G., & Scotti, D. (2017). The impact of technology progress on aviation noise and emissions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 525–540.
- Grote, M., Williams, I., & Preston, J. (2014). Direct carbon dioxide emissions from civil aircraft. *Atmospheric Environment*, 95, 214–224.
- Hastomo, W., Bayangkari Karno, A. S., Kalbuana, N., Meiriki, A., & Sutarno. (2021). Characteristic Parameters of Epoch Deep Learning to Predict Covid-19 Data in Indonesia. In R. R., Mesran, Supriyanto, W. R., & H. J. (Eds.), *1st Virtual Conference on Engineering, Science and Technology, ViCEST 2020* (Vol. 1933).
- Hendriarto, P., Mursidi, A., Kalbuana, N., Aini, N., & Aslan, A. (2021). Understanding the Implications of Research Skills Development Framework for Indonesian Academic Outcomes Improvement. *Jurnal Iqra' : Kajian Ilmu Pendidikan*, 6(2), 51–60.
- Herman Edyanto, C. (2013). Carbon Emmision As The Base Of The Implementation Of Green Open Spaces In Jakarta Emisi Karbon Sebagai Dasar Implementasi Penyediaan Ruang Terbuka Hijau Di Dki Jakarta.

- Hu, R., Xiao, Y.B., Jiang, C.M., 2018. Jet fuel hedging, operational fuel efficiency improvement and carbon tax. *Transp. Res. Part B Methodol.* 116, 103–123.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Climate Change 2007: synthesis report. In: Core Writing Team, Pachauri, R.K., Reisinger, A. (Eds.), Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- International Air Transport Association (IATA), 2014. Fact Sheet e Industry Statistics. International Air Transport Association, Montreal, Canada.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 2010c. Environmental Report e Aviation and Climate Change. International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 2013a. A38-WP/430 Assembly 38th Session e Report of the Executive Committee on Agenda Item 17 (Section on Climate Change). International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 2013b. Assembly 38th Session eReport of the Economic Commission on Agenda Item 40: Economic Development of Air Transport e Policy. International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada.
- International Transport Forum (ITF), 2012. Transport Outlook 2012. International Transport Forum e Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France.
- Janic, M., 2018. An assessment of the potential of alternative fuels for "greening" commercial air transportation. *J. Air Transport. Manag.* 69, 235–247. <https://doi:10.1016/j.jairtraman.2017.09.002>.
- Jannah, M., Fahlevi, M., Paulina, J., Nugroho, B. S., Purwanto, A., Subarkah, M. A., ... Cahyono, Y. (2020). Effect of ISO 9001, ISO 45001 and ISO 14000 toward financial performance of Indonesian manufacturing. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 11(10). <https://doi.org/10.31838/srp.2020.10.134>
- Kalbuana, N. (2024). Examining Customer Content With Indomaret Pointku Application Services Through E-Servqual. *Journal of Data Analytics, Information, and Computer Science (JDAICS)*, 1(1), 22–30.
- Kalbuana, N., & Kurnianto, B. (2024). Design of Microcontroller Sensor-Based Smoke Detection System as an Effort for Fire Prevention Desain Sistem Deteksi Asap Berbasis Sensor Mikrokontroler Sebagai Upaya Pencegahan Kebakaran. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(January), 266–272.
- Kalbuana, N., Suryati, A., Rusdiyanto, R., Azwar, A., Rudy, R., Yohana, Y., ... Hidayat, W. (2021). Interpretation of Sharia Accounting Practices in Indonesia. *Journal of Legal, Ethical and Regulatory Issues*, 24, 1–12.
- Kalbuana, N, Prasetyo, B., Asih, P., Arnas, Y., Simbolon, S. L., Abdusshomad, A., ... Mahdi, F. M. (2021). Earnings Management Is Affected By Firm Size, Leverage And Roa: Evidence From Indonesia. *Academy of Strategic Management Journal*, 20(SpecialIssue2), 1–12. Retrieved from
- Kalbuana, N, Kusiyah, K., Supriatiningsih, S., Budiharjo, R., Budyastuti, T., & Rusdiyanto, R. (2022). Effect of profitability, audit committee, company size, activity, and board of directors on sustainability. *Cogent Business & Management*, 9(1), 2129354.
- Kalbuana, N, Taqi, M., Uzliawati, L., & Ramdhani, D. (2022). The Effect of Profitability, Board Size, Woman on Boards, and Political Connection on Financial Distress Conditions. *Cogent Business and Management*, 9(1).
- Kalbuana, N, Taqi, M., Uzliawati, L., & Ramdhani, D. (2023). CEO narcissism, corporate governance, financial distress, and company size on corporate tax avoidance. *Cogent Business and Management*, 10(1).
- Kardi, Pamuraharjo, H., Kalbuana, N., & Kurnianto, B. (2023). The Nexus Of Artificial Intelligence, Blockchain Technology, And Human Capital In Digital Marketing Strategy: An Exploratory Study On The Integration, Ethical Implications, And Future Prospects. *International Journal of Economic Literature*, 1(1), 12–22.
- Kurniawan, W., Gunawan, F., Solihin, S., Saputra, S. T., Yusmana, W., Kalbuana, N., & Supri, S. (2023). Pelatihan pencegahan dan penanggulangan bahaya kebakaran di fire station Bandar Udara Internasional. *Penamas: Journal of Community Service*, 3(2), 66–76.

- Kiesewetter, L., Shakib, K. H., Singh, P., Rahman, M., Khandelwal, B., Kumar, S., & Shah, K. (2023). A holistic review of the current state of research on aircraft design concepts and consideration for advanced air mobility applications. *Progress in Aerospace Sciences*, 142(August), 100949.
- Kurniawan Mainil, A. (2011). Analisa Kinerja Engine Turbopan Cfm56-3.
- Lamtiar, S., Yoga, M. F., & Kalbuana, N. (2024). Perancangan Sistem Presensi Permakanan Taruna Menggunakan Kartu RFID Berbasis Internet of Things. *Journal on Education*, 06(02), 13864–13874.
- Lee, D.S., Fahey, D.W., Skowron, A., Allen, M.R., Burkhardt, U., Chen, Q., Wilcox, L.J., 2021. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmos. Environ.* 244.
- Lee, D.S., Fahey, D.W., Forster, P.M., Newton, P.J., Wit, R.C.N., Lim, L.L., Owen, B., Sausen, R., 2009. Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmos. Environ.* 43 (22e23), 3520e3537.
- Lee, D.S., Pitari, G., Grewe, V., Gierens, K., Penner, J.E., Petzold, A., Prather, M.J., Schumann, U., Bais, A., Berntsen, T., 2010. Transport impacts on atmosphere and climate: aviation. *Atmos. Environ.* 44 (37), 4678e4734
- Lo, P.L., Martini, G., Porta, F., Scotti, D., 2020. The determinants of CO2 emissions of air transport passenger traffic: an analysis of Lombardy (Italy). *Transport Pol.* 91, 108–119.
- O'Connell, A., Kousoulidou, M., Lonza, L., Weindorf, W., 2019. Considerations on GHG emissions and energy balances of promising aviation biofuel pathways. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 101, 504–515.
- Pamuraharjo, H., Kardi, Kalbuana, N., & Abdusshomad, A. (2023). Catalyzing Educational Transformation In The Digital Age: Analyzing The Technological Implications On Millennial. *International Journal of Teaching and Learning (INJOTEL)*, 1(3), 234–247.
- Raffah, A. M., & Kristiastuti, F. (2021a). Analisis Penerapan Konsep Eco Green Airport Dalam Menangani Pencemaran Air Limbah Di Bandara Internasional Husein Sastranegara Bandung. In *Manners: Vol. Iv (Issue 1)*.
- Raffah, A. M., & Kristiastuti, F. (2021b). Analisis Penerapan Konsep Eco Green Airport Dalam Menangani Pencemaran Air Limbah Di Bandara Internasional Husein Sastranegara Bandung. In *Manners: Vol. Iv (Issue 1)*.
- Raming, V. V., Umboh, J. M. L., Warouw, F., Kesehatan, F., Universitas, M., Ratulangi, S., Abstrak, M., Kunci, K., Monoksida, K., Kesehatan, R., & Kesehatan, K. (2022). Literature Review: Gambaran Risiko Kesehatan Pada Masyarakat Akibat Paparan Gas Karbon Monoksida (Co). In *Jurnal Kesmas (Vol. 11, Issue 4)*.
- Seymour, K., Held, M., Georges, G., Boulouchos, K., 2020. Fuel estimation in air transportation: Modeling global fuel consumption for commercial aviation. *Transport. Res. Part D-Transport Environ.* 88. <https://doi:10.1016/j.trd.2020.10.2528>.
- Slamet, L. (2006). Potensi Dan Dampak Polusi Udara Dari Sektor Penerbangan.
- Staples, M.D., Malina, R., Suresh, P., Hileman, J.I., Barrett, S.R.H., 2018. Aviation CO2 emissions reductions from the use of alternative jet fuels. *Energy Pol.* 114, 342–354. <https://doi:10.1016/j.enpol.2017.12.007>
- Sundoro, Kalbuana, N., & Cahyadi, C. I. (2024). Strategic Trajectories: An In-Depth Exploration of Complex Landscape of Higher Education In Indonesia. *International Journal of Teaching and Learning (INJOTEL)*, 2(1), 236–250.
- Supriatiningsih, S., Safri, S., Suryaningsih, M., Husadha, C., & Kalbuana, N. (2023). A Moderation Variable's Impact of the Triangle Theory of Fraudulent Financial Reporting with Managerial Ownership. *Review of Economics and Finance*, 21(1), 2375–2383.
- Taqi, M., Kalbuana, N., Abbas, D. S., & Mayyizah, M. (2024). Litigation Risk-Delving Into Audit Quality, Internal Audit Structure, Political Connections, and Company Size. *Interdisciplinary Journal of Management Studies (Formerly Known as Iranian Journal of Management Studies)*, 17(2). <https://doi.org/10.22059/ijms.2024.367759.676318>
- Taufik Hidayat, F., Rabeta, B., & Fransiscus, F. (2016). Analisis Pengaruh Winglet Pada Sayap Pesawat Cessna 172 Menggunakan Perangkat Lunak Xflr5. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, 5(1).
- Tjahjani, F., Tanoto, S. S., & Kalbuana, N. (2024). Devidend Policy Moderates Growth

- Opportunity, Free Cash Flow, And Debt Policy on Firm Value. *International Journal of Economic Literature (INJOLE)*, 2(1), 158–166.
- Turgut, E.T., Usanmaz, O., Rosen, M.A., 2018. Empirical analysis of the effect of descent flight path angle on primary gaseous emissions of commercial aircraft. *Environ. Pollut.* 236, 226–235. <https://doi:10.1016/j.envpol.2018.01.084>
- Umbu Kaleka, Y., Wayan Budiarsa Suyasa, I., & Sudiana Mahendra, M. (2015). Beban Emisi Aktivitas Lto Pesawat Udara Di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali. 9.
- Uzliawati, L., Kalbuana, N., Budyastuti, T., Budiharjo, R., Kusiyah, & Ahalik. (2023). The power of sustainability, corporate governance, and millennial leadership: Exploring the impact on company reputation. *Uncertain Supply Chain Management*, 11(3), 1275–1288.
- Uzliawati, L., Kalbuana, N., & Utami, A. (2024). Board Commissioner and Intellectual Capital Disclosure on Ownership Concentration in Indonesia Banking Industries. *Quality Access to Success*, 25(200), 299–308
- Uzliawati, L., Taqi, M., Muchlish, M., & Kalbuana, N. (2023). The Transformation of Corporate Reputation Driven by Corporate Governance, Environmental Social, and Governance (ESG), Business Activity, and Profitability in Indonesia. *Review of Economics and Finance*, 21, 1295–1305. <https://doi.org/10.55365/1923.x2023.21.142>
- Velaz-Acera, N., Álvarez-García, J., & Borge-Diez, D. (2023). Economic and emission reduction benefits of the implementation of eVTOL aircraft with bi-directional flow as storage systems in islands and case study for Canary Islands. *Applied Energy*, 331(December 2022).
- Wahyu Purwanta. (2015). Profil Emisi Gas Buang Dari Pesawat Udara Di Sejumlah Bandara Di Indonesia. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 16, 21–26.
- Wen, Q., Chen, Y., Hong, J.K., Chen, Y., Ni, D.F., Shen, Q.P., 2020. Spillover effect of technological innovation on CO2 emissions in China's construction industry. *Build. Environ.* 171.
- Xiong, X., Song, X., Kaygorodova, A., Ding, X., Guo, L., & Huang, J. (2023). Aviation and carbon emissions: Evidence from airport operations. *Journal of Air Transport Management*, 109(August 2022), 102383.