JIMT: Jurnal Ilmu Manajemen Terapan
E-ISSN: 2686-4924
P-ISSN: 2686-5246
https://dinastirev.org/JIMT dinasti.info@gmail.com +62 811 7404 455
DOI: https://doi.org/10.38035/jimt.v8i2
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Received: 19 Oktober 2026 | **Revised:** 26 Oktober 2026 | **Accepted:** 2 November 2026

Pengaruh Implementasi *Green Operating Procedure* terhadap Efisiensi Bahan Bakar serta Dampaknya terhadap Penurunan Emisi Karbon pada Operasional Airbus A330 PT. Garuda Indonesia

Mukhammad Alfisyahr Anwar[1], Sarinah Sihombing[2], Aisyah Rahmawati[3], Jermanto Setia Kurniawan[4], Sandriana Marina[5]
[1]Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta, Indonesia, mukhammadalfisyahr@gmail.com
[2]Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta, Indonesia, sarinahstmt@gmail.com
[3]Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta, Indonesia, aisyahrkicil@gmail.com
[4]Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta, Indonesia, Js10.jermanto@lecturer.itltrisakti.ac.id
[5]Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta, Indonesia, sandrianamarina09@gmail.com

Corresponding Author: mukhammadalfisyahr@gmail.com[1]

Abstract: *The aviation industry faces increasing pressure to improve fuel efficiency and reduce carbon emissions. The* ***research gap*** *lies in the limited studies integrating multiple* Green Operating Procedures *using actual operational data from Airbus A330 aircraft operated by Indonesian airlines and examining fuel efficiency as a mediating variable. This study aims to analyze the effects of* Engine Out Taxi In, Reduce Landing Flap*, and* Reduce APU Usage *on fuel efficiency and carbon emission reduction at PT Garuda Indonesia. An explanatory quantitative approach was employed using 96 monthly observations from four international routes during 2024–2025. Data were analyzed using panel data regression and the Sobel test. The results indicate that all three procedures affect fuel efficiency.* Reduce APU Usage *directly affects carbon emissions, whereas* Engine Out Taxi In *has no significant direct effect.* Reduce Landing Flap *has a negative direct effect, while fuel efficiency positively affects carbon emission reduction. Mediation analysis confirms that fuel efficiency mediates the effects of all three procedures on carbon emission reduction. This* ***(novelty)*** *demonstrates that integrating* Green Operating Procedures *reduces carbon emissions through fuel efficiency mediation in Indonesian Airbus A330 operations.*
Keywords: *Engine Out Taxi In, Reduce Landing Flap, Reduce APU Usage, Carbon Emission Reduction*

Abstrak: Industri penerbangan saat ini menghadapi tuntutan dalam meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emosi karbon. ***Research gap*** penelitian ini masih terbatasnya penelitian yang mengintegrasikan beberapa prosedur *Green Operatiing Produce* yang menggunakan data aktual operasional Airbus A330 maskapai penerbangan di Indonesia dan menguji efiseiensi bahan kabar sebagai variabel mediasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh *Engine Out Taxi In, Reduce Landing Flap*, dan *Reduce APU Usage* terhadap efisiensi bahan bakar dan penurunan emisi karbon pada PT Garuda Indonesia. Penelitian ini

menggunakan pendekatan kuantitatif eksplanatori dengan 96 observer bulanan dari empat rute internasional selama periode 2024-2025. Data dianalisis dengan regresi data panel dan uji sobel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga prosedur berpengaruh terhadap efisiensi bahan bakar, sedangkan Reduce *APU Usage* berpengaruh langsung terhadap emisi karbon, *Engine Out Taxi In* tidak berpengaruh langsung secara signifikan. *Reduce Landing Flap* berpengaruh langsung negatif, efisiensi bahan bakar berpengaruh positif terhadap penurunan emisi karbon. Uji mediasi menunjukkan bahwa efisiensi bahan bakar memediasi pengaruh ketiga prosedur terhadap penurunan emisi karbon. Temuan (***novelty***) ini menunjukkan bahwa integrasi *Green Operating Procedures* menurunkan emisi karbon melalui mediasi efisiensi bahan bakar Airbus A330 Indonesia

Kata Kunci: *Engine Out Taxi In, Reduce Landing Flap, Reduce APU Usage,* Penurunan Emisi Karbon

PENDAHULUAN

Bahan bakar adalah salah satu komponen utama dalam industri penerbangan dan pembakaran bahan bakar penerbangan tersebut menjadi sumber emisi karbon dioksida (CO_2) sehingga peningkatan efisiensi operasional merupakan hal penting dalam pengendalian biaya dan pengurangan dampak lingkungan (Klimczyk *et al.*, 2025). Kajian tentang emisi penerbangan menunjukkan bahwa dampak lingkungan di sekitar bandara berasal dari kombinasi emisi mesin pesawat, aktivitas operasional darat, dan sumber pendukung lainnya (Riley *et al.*, 2021).

Pengurangan emisi pada sektor penerbangan dalam skala nasional berhubungan dengan komitmen yang tertuang dalam *Nationaly Determined Contributions* (NDC) yang merupakan bagian dari pelaksanaan Perjanjian Paris (*Paris Agreement*) (Mayer and Ding, 2023). Berdasarkan dokumen *Enhanced Nationally Determined Contribution* menyatakan bahwa Indonesia menetapkan target penurunan emisi gas rumah kaca sebesar 31,89% pada tahun 2030 dengan kemampuannya sendiri dan dengan dukungan internasional sebesar 43,20% (Puspitarini and Azaria, 2026). Komitmen tersebut menjadi dasar dalam pelaksanaan kebijakan mitigasi perubahan iklim pada berbagai sektor termasuk transportasi udara. Kementrian Perhubungan secara sektoral telah menetapkan Keputusan Menteri Perhubungan Nomor K 8 Tahun 2023 tentang Penetapan Aksi Mitigasi Perubahan Iklim Sektor Transportasi. Selain itu juga Direktorat Jenderal Perhubungan Udata telah menyusun *State Action Plan* (SAP) yang disampaikan kepada *International Civil Aviation Organization* (ICAO). Dokumen tersebut memuat empat pilar utama penurunan emisi dan diantaranya adalah peningkatan efisiensi operasional pesawat. Hal tersebut juga sejalan dengan pendapat Saragi et al yang menjelaskan bahwa transportasi yang berkelanjutan harus didukung oleh peningkatan aksesibilitas, efisiensi biaya, pengurangan emisi, dan inovasi teknologi dalam layanan transportasi. Berdasarkan hal tersebut maka penerapan prosedur hemat bahan bakar pada maskapai nasional memiliki relevansi terhadap pengendalian biaya operasional dan pencapaian sasaran mitigasi perubahan iklim.

PT Garuda Indonesia (Persero) Tbk sebagai salah satu maskapai pembawa bendera negara (*flag carrier*) dituntut untuk menjaga efisiensi operasional sekaligus mendukung upaya pengurangan emisi penerbangan. Salah satu upaya yang dilakukan adalah *Green Operating Procedure* (GOP) yaitu serangkaian prosedur operasional yang dirancang guna mengoptimalkan penggunaan bahan bakar pada berbagai fase penerbangan tanpa mengabaikan aspek keselamatan. Penerapan GOP pada armada Airbus A330 Garuda Indonesia mencakup *enggine out taxi in* (EOTI), *reduce landing flag* (RLF), dan *reduce APU Usage*. Gerber et al (2026) menyatakan bahwa pemilihan konfigurasi CONF 3 pada kondisi performa pendaratan memungkinkan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar selama fase pendekatan. Adapun

Reduce APU Usae dilakukan dengan mengoptimalkan penggunaan fasilitas pendukung darat seperti *ground electrical unit* dan *ground pneumatic unit* untuk mengurangi pengoperasian auxiliary power unit (APU) pada saat kondisi operasional memungkinkan (Baxter, 2022). Optimalisasi pemanfaatan fasilitas pendukung tersebut menjadi bagian dari upaya meningkatkan efisiensi operasional.

Zengerling et al (2023) secara teoritis menjelaskan bahwa penerapan GOP secara konsisten dapat berpengaruh terhadap penurunan biaya operasional secara langsung (*direct operating cost*). Bashatah (2025) juga menekankan tentang pentingnya kepatuhan pilot terhadap prosedur operasi standar dalam mendukung eifisiensi operasional. Kedua pendapat tersebut menunjukkan bahwa keberadaan prosedur penghematan bahan bakar harus dilakukan secara konsisten agar efisiensi dapat tercapai. Selanjutnya efektivitas penerapan GOP tidak saja tergantung pada kepatuhan awak pesawat tetapi juga pada kesesuaian prosedur dengan kondisi operasional dand ukungan fasilitas yang tersedia (Dahanayaka, Prak and Mes, 2026). Berdasarkan hal tersebut maka penerapan GOP pada armada Airbus A330 Garuda Indonesa harus dievaluasi menggunakan data operasional untuk mengetahui kontribusinya terhadap penghematan bahan bakar.

Permasalahn biaya bahan bakar pada Garuda Indonesia dapat dilihat dari perbandingan proporsi biaya bahan bakar terhadap total beban usaha selama periode 2022 sampai dengan 2024. Pada tahun 2022 proporsi bahan bakar Garuda Indonesia tercatat sebesar 29 % sedangkan tolak ukur industri global IATA adalah sebesar 30%, tahun 2023 meningkat menjadi 38 %dengan tolak ukur IATA sebesar 35%, dan pada tahun 2024 menurun menjadi 35% dan berada di atas tolak ukur IATA sebesar 31%. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa proporsi biaya bahan bakar Garuda Indonesia meningkat pada tahun 2023 dan berada di atas tolak ukur industri pada tahun 2024. Kondisi seperti ini menunjukkan bahwa adanya tekanan biaya bahan bakal yang harus diuji lebih lanjut.

Kenaikan harga bahan bakar penerbangan dapat meningkatkan biaya yang ditanggung oleh maskapai dan dapat mempengaruhi pertimbangan pengguna dalam menggunakan jasa penerbangan (Humaira *et al.*, 2020). Berdasarkan hal tersebut maka pengendalian konsumsi bahan bakar menjadi salah satu aspek penting dalam menjaga efisiensi operasional. Dalam konteks Garuda Indonesia maka kesenjangan proporsi biaya bahan bakar terhadap tolak ukur industri menunjukkan perlunya evaluasi terhadap faktor-faktor yang dapat mempengaruhi penggunaan bahan bakar. Salah satu aspek yang perlu dikaji diantaranya adalah implementasi GOP karena prosedur tersebut dirancang untuk mengoptimalkan penggunaan bahan bakar dalam kegiatan operasi penerbangan. Perbandingan proporsi biaya bahan bakar terhadap total beban usaha memberikan gambaran tentang kondisi biaya perusahaan tetapi belum cukup untuk menjelaskan pengaruhnya langsung implementasi GOP terhadap penghematan bahan bakar sehingga diperlukan analisis berbasis data operasional untuk menilai efektivitas penerapan prosedur tersebut.

Tabel 1 berikut ini memberikan gambaran awal implementasi GOP pada rute PVG–CGK (GA 895) selama 12 Desember 2024 – 05 Januari 2025, disajikan data penerapan GOP pada paramater EOTI.

Tabel 1. Data Implementasi GOP GA895

Tanggal	Trip Fuel (kg)	GOP Fuel Used (kg)	Fuel Saving (kg)	Persentase Penghematan (%)
2024-12-12	36552.75	36400.00	152.75	0.4 %
2024-12-16	36896.20	36900.00	96.20	0.3 %
2024-12-17	37102.33	36942.00	160.33	0.4 %
2024-12-19	34551.83	34450.00	101.83	0.3 %
2024-12-23	37239.75	37100.00	139.75	0.4 %
2025-01-04	37834.33	37700.00	134.33	0.4 %
2025-01-05	39101.42	39031.00	70.42	0.2 %

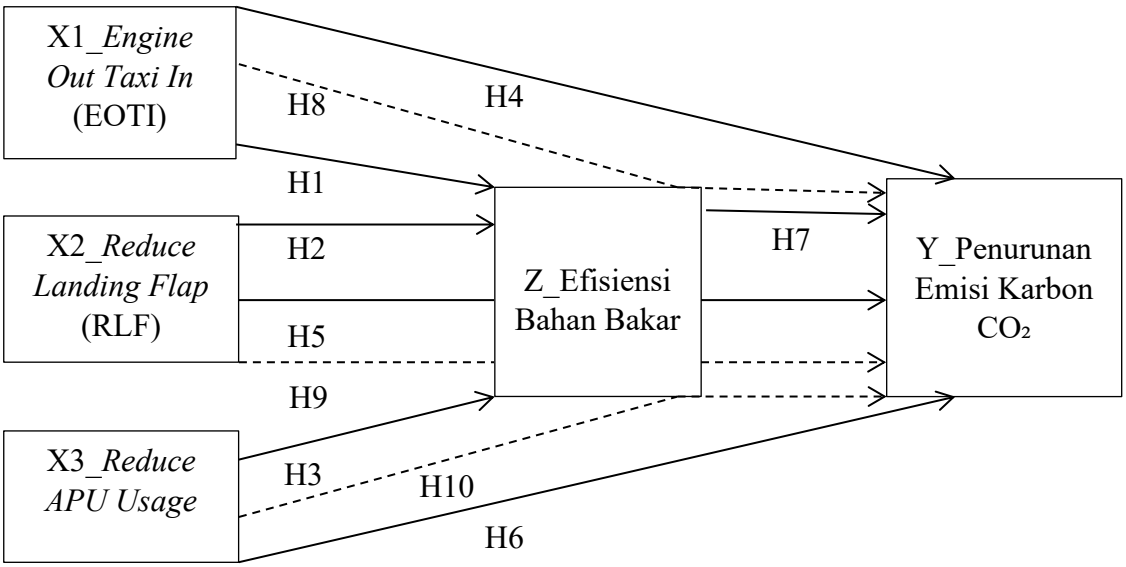
Data penerapan *Green Operating Procedure* (GOP) menunjukkan bahwa setiap penerbangan yang diamati menghasilkan penghematan bahan bakar. Temuan ini menegaskan bahwa penerapan prosedur operasional yang tepat dapat berkontribusi pada efisiensi penggunaan fuel. Berdasarkan hal tersebut maka GOP relevan untuk diteliti karena berpotensi menjadi salah satu upaya strategis dalam meningkatkan efisiensi operasional penerbangan. Adapun penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan *Engine Out Taxi In*, *Reduce Landing Flap*, dan *Reduce APU Usage* terhadap efisiensi bahan bakar serta dampaknya terhadap penghematan emisi karbon dioksida pada operasional pesawat Airbus A330 Garuda Indonesia

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yaitu penelitian berbasis filsafat positivisme yang meneliti populasi/sampel tertentu, menggunakan instrumen pengumpulan data, dan menganalisis data secara statistik untuk menguji hipotesis (Sugiyono, 2022). Desain yang digunakan adalah eksplanatori yaitu jenis penelitian kuantitatif yang bertujuan untuk menguji hipotesis, menjelaskan hubungan sebab akibat (*causal relationships*) antar variabel (Hartono, 2019). Objek penelitian adalah operasional Airbus A330 PT Garuda Indonesia pada rute Jakarta–Incheon (CGK–ICN), Jakarta–Melbourne (CGK–MEL), Jakarta–Shanghai Pudong (CGK–PVG), dan Jakarta–Sydney (CGK–SYD). Data yang digunakan adalah data sekunder operasional pada periode 2024–2025 dengan 96 observasi yang disusun dalam struktur panel. Data dikumpulkan melalui dokumentasi catatan implementasi prosedur, penghematan bahan bakar, estimasi penghematan emisi karbon, rute, dan periode pengamatan.

Variabel independen terdiri atas EOTI (X1), RLF (X2), dan *Reduce* APU *Usage* (X3). Efisiensi bahan bakar (Z) diperlakukan sebagai variabel *intervening* dan diukur menggunakan jumlah penghematan bahan bakar dalam kilogram. Variabel dependen (Y) adalah penurunan emisi karbon yang diukur melalui estimasi penghematan emisi CO_2 dalam kilogram. Analisis dilakukan menggunakan EViews melalui regresi data panel, pengujian hipotesis, dan uji mediasi Sobel pada taraf signifikansi 5%. Model pertama menguji pengaruh X1, X2, dan X3 terhadap Z. Model kedua menguji pengaruh X1, X2, X3, dan Z terhadap Y. Pengaruh dinyatakan signifikan apabila nilai probabilitas lebih kecil dari 0,05. Uji Sobel digunakan untuk menilai signifikansi pengaruh tidak langsung melalui Z.

Adapun kerangka konseptual dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Keterangan:
→ : Pengaruh Langsung (H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7)
⇢ : Pengaruh Mediasi (H8, H9, H10)

Gambar 1. Kerangka Konseptual

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Deskripsi Data Penelitian

Penelitian ini menganalisis penerapan *Green Operating Procedure* (GOP) pada operasional pesawat Airbus A330 Garuda Indonesia serta pengaruhnya terhadap efisiensi bahan bakar (*fuel saving*) dan penurunan emisi karbon dioksida (CO_2 *saving*). Data yang digunakan merupakan data sekunder operasional penerbangan berbentuk panel yang menggabungkan empat rute internasional yaitu Jakarta ke Incheon (CGK–ICN), Jakarta ke Melbourne (CGK–MEL), Jakarta ke Shanghai Pudong (CGK–PVG), dan Jakarta ke Sydney (CGK–SYD) dengan 24 bulan pengamatan dari Januari 2024 sampai dengan Desember 2025 sehingga data mencakup 96 observasi.

Variabel independen terdiri atas *Engine Out Taxi In* (EOTI/X1), *Reduce Landing Flap* (RLF/X2), dan Reduce APU Usage (X3). Efisiensi bahan bakar (Z) berperan sebagai variabel mediasi, sedangkan penurunan emisi karbon CO_2 (Y) menjadi variabel dependen. Ringkasan total penerapan GOP dan capaian penghematan berdasarkan rute disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Penerapan GOP, Penghematan Bahan Bakar, dan Penurunan Emisi Per Rute

Rute	Total penerapan GOP	Fuel saving (kg)	CO_2 saving (kg)
CGK–SYD	400	40.921,35	125.192,77
CGK–MEL	318	21.348,28	64.063,01
CGK–PVG	686	58.183,08	176.790,63
CGK–ICN	846	75.676,48	231.056,71
Total	2.250	196.129,20	597.103,11

Secara agregat tercatat 2.250 penerapan GOP dengan penghematan bahan bakar sebesar 196.129,20 kg dan estimasi penurunan emisi sebesar 597.103,11 kg CO_2. Rute CGK–ICN mencatat jumlah penerapan dan penghematan tertinggi yaitu 846 penerapan, *fuel saving* 75.676,48 kg, dan CO_2 *saving* 231.056,71 kg. Sedangkan CGK–MEL mencatat *fuel saving* terendah yaitu 21.348,28 kg dan CO_2 *saving* 64.063,01 kg. Perbedaan antar rute menunjukkan bahwa capaian GOP berlangsung dalam konteks operasional bandara yang tidak sepenuhnya sama. Hasil penelitian juga menunjkkan tingginya penerapan pada CGK–ICN dengan dukungan *Airport Collaborative Decision Making* (A-CDM) di Incheon sedangkan penerapan EOTI di Melbourne dibatasi pada area tertentu untuk pesawat dengan rentang sayap di atas 36 meter.

Pemilihan Model Regresi Data Panel

Analisis dilakukan melalui dua model regresi dimana model 1 menguji pengaruh EOTI, RLF, dan *Reduce* APU *Usage* terhadap efisiensi bahan bakar. Selanjutnya model 2 menguji pengaruh ketiga prosedur GOP dan efisiensi bahan bakar terhadap penurunan emisi CO_2. Pemilihan model dengan membandingkan *Common Effect Model* (CEM), *Fixed Effect Model* (FEM), dan *Random Effect Model* (REM) dengan Uji Chow, Hausman, dan Lagrange Multiplier (LM).

Tabel 3. Pemilihan Model Regresi Data Panel

Model	Uji Chow (p)	Uji Hausman (p)	Uji LM (p)	Model terpilih
Model 1	0,0000	0,0000	0,0000	Fixed Effect Model (FEM)
Model 2	0,0750	Tidak dilakukan	0,6623	Common Effect Model (CEM)

Pada Model 1 diketahui bahwa Uji Chow (p = 0,0000) dan Uji Hausman (p = 0,0000) mendukung penggunaan FEM. Walaupun Uji LM juga signifikan namun keputusan akhir mengikuti hasil Chow dan Hausman sehingga Model 1 diestimasi dengan FEM. Pada Model 2 diketahui bahwa Uji Chow (p = 0,0750) dan Uji LM (p = 0,6623) tidak signifikan pada taraf 5%, sehingga CEM dipilih.

Pengujian Asumsi dan Kelayakan Model

Uji Jarque Bera menunjukkan residual Model 1 berdistribusi normal (p = 0,819505) dan residual Model 2 juga berdistribusi normal (p = 0,117603). Hasil uji heteroskedastisitas yang dilaporkan menunjukkan nilai probabilitas di atas 0,05 pada seluruh variabel yang diuji. Untuk autokorelasi menunjukkan nilai Durbin–Watson Model 1 sebesar 1,597690 mengindikasikan kemungkinan autokorelasi positif yang lemah atau kondisi borderline, sedangkan Model 2 memiliki nilai 2,267726 dan tidak menunjukkan indikasi autokorelasi kuat. Uji korelasi menunjukkan korelasi tertinggi Model 1 sebesar 0,504573. Pada Model 2, korelasi antara *Reduce* APU *Usage* dan efisiensi bahan bakar sebesar 0,817619, sedikit melebihi batas 0,80 yang digunakan dalam penelitian.

Nilai R-squared pada Model 1 sebesar 0,974223 yang menunjukkan bahwa EOTI, RLF, dan *Reduce* APU *Usage* secara bersamaan menjelaskan 97,42% variasi efisiensi bahan bakar pada model. R squared Model 2 tercatat sebesar 1,000000 sehingga karena variabel CO_2 saving dalam penelitian dihitung berkaitan langsung dengan *fuel saving* maka nilai tersebut kemungkinan besar mencerminkan hubungan perhitungan antarkedua variabel dan tidak boleh ditafsirkan sebagai bukti bahwa model memiliki daya prediksi sempurna di luar data penelitian.

Pengujian Hipotesis

Hasil estimasi Model 1 dan Model 2 dirangkum dalam Tabel 4. Taraf signifikansi yang digunakan adalah 5% (p < 0,05).

Tabel 4. Hasil Uji Hipotesis

Hipotesis	Hubungan	Koefisien	t-statistic	p-value	Keputusan
H1	EOTI → efisiensi bahan bakar	269,2129	6,170371	0,0000	Diterima
H2	RLF → efisiensi bahan bakar	74,13372	11,46362	0,0000	Diterima
H3	Reduce APU Usage → efisiensi bahan bakar	121,6815	39,34879	0,0000	Diterima
H4	EOTI → penurunan emisi CO_2	0,000226	0,059538	0,9527	Ditolak
H5	RLF → penurunan emisi CO_2	−12,19965	−13324,63	0,0000	Ditolak*
H6	Reduce APU Usage → penurunan emisi CO_2	8,163443	8606,725	0,0000	Diterima
H7	Efisiensi bahan bakar → penurunan emisi CO_2	3,099998	423068,0	0,0000	Diterima
H8	EOTI → efisiensi bahan bakar → emisi CO_2	834,5595 (efek tidak langsung)	6,1704 (Sobel)	—	Diterima
H9	RLF → efisiensi bahan bakar → emisi CO_2	229,8144 (efek tidak langsung)	11,4636 (Sobel)	—	Diterima
H10	Reduce APU Usage → efisiensi bahan bakar → emisi CO_2	377,2124 (efek tidak langsung)	39,3488 (Sobel)	—	Diterima

Pada Model 1 diketahui bahwa EOTI, RLF, dan *Reduce* APU *Usage* memiliki koefisien positif dan signifikan terhadap efisiensi bahan bakar (masing-masing p = 0,0000) sehingga H1, H2, dan H3 diterima. Pada Model 2 diketahui pengaruh langsung EOTI terhadap penurunan emisi tidak signifikan (p = 0,9527) sehingga H4 ditolak. RLF memiliki koefisien negatif dan signifikan sehingga karena arahnya berlawanan dengan hipotesis positif maka H5 ditolak. *Reduce APU Usage* dan efisiensi bahan bakar memiliki koefisien positif dan signifikan terhadap penurunan emisi, sehingga H6 dan H7 diterima.

Uji Sobel yang dilaporkan menghasilkan nilai 6,1704 untuk jalur EOTI → efisiensi bahan bakar → penurunan emisi adalah sebesar 11,4636 untuk jalur RLF dan 39,3488 untuk jalur *Reduce APU Usage*. Seluruh nilai melebihin nilai kritis 1,96 pada taraf signifikansi 5% sehingga H8, H9, dan H10 dinyatakan diterima berdasarkan hasil pengujian yang tersedia.

Discussion

1. Pengaruh *Engine Out Taxi In* Terhadap Efisiensi Bahan Bakar

EOTI berpengaruh positif dan signifikan terhadap efisiensi bahan bakar (β = 269,2129; p < 0,05) sehingga H1 diterima. Prosedur ini secara operasional menggunakan satu mesin selama *taxi-in* setelah pesawat mendarat sehingga mesin lain tidak perlu dioperasikan sepanjang fase tersebut. Pengurangan penggunaan mesin berpotensi mengurangi konsumsi bahan bakar selama pergerakan di darat. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Kameníková et al. (2022) yang membahas penerapan prosedur *single engine taxiing* dan potensinya dalam mendukung efisiensi operasi pesawat. Penerapan EOTI tetap bergantung pada kondisi teknis, lalu lintas darat, dan ketentuan bandara tujuan. Penelitian yang dilakukan oleh Hao et al (2021) juga menemukan hal yang sama dimana *Engine Out Taxi In* berdampak terhadap konsumsi bahan bakar.

2. Pengaruh *Reduce Landing Flap* Terhadap Efisiensi Bahan Bakar

RLF berpengaruh positif dan signifikan terhadap efisiensi bahan bakar (β = 74,13372; p < 0,05) sehingga H2 diterima. Penggunaan konfigurasi flap pendaratan yang lebih rendah berhubungan dengan pengelolaan konfigurasi pesawat dan energi selama fase *approach* dan *landing*. Hasil uji hipotesis ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Gerber et al. (2026) yang mengkaji dukungan pilot dalam pengelolaan energi dan flight path untuk pendekatan yang lebih optimal. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa RLF berkaitan positif dengan penghematan bahan bakar pada data yang dianalisis dengan manfaat aktual yang tetap bergantung pada berat pesawat, cuaca, karakteristik pendekatan, kondisi landasan, dan batas keselamatan dan prosedur operasi.

3. Pengaruh *Reduce* APU *Usage* Terhadap Efisiensi Bahan Bakar

Reduce APU *Usage* berpengaruh positif dan signifikan terhadap efisiensi bahan bakar (β = 121,6815; p < 0,05) sehingga H3 diterima. Pengurangan penggunaan *Auxiliary Power Unit* (APU) dapat dilakukan dengan memanfaatkan dukungan eksternal seperti *Ground Power Unit* (GPU) dan *pre-conditioned air* jika fasilitas tersebut tersedia. Penelitian yang dilakukan Padhra (2018) yang melakukan analisis lebih dari 25.000 *turnaround* pesawat di 125 bandara Eropa menunjukkan bahwa penyediaan daya listrik eksternal dapat mengurangi emisi yang berhubungan dengan penggunaan APU. Temuan ini mendukung hasil penelitian bahwa pengurangan penggunaan APU berpotensi mengurangi konsumsi bahan bakar selama pesawat berada di darat dan efektivitasnya tergantung pada ketersediaan dan kesiapan fasilitas pendukung darat.

4. Pengaruh *Engine Out Taxi In* Terhadap Penurunan Emisi Karbon CO_2

Pengaruh langsung EOTI terhadap penurunan emisi CO_2 tidak signifikan (β = 0,000226; p = 0,9527) sehingga H4 ditolak. Hasil ini berarti data penelitian tidak memberikan bukti statistik yang cukup atas hubungan langsung EOTI dengan CO_2 *saving* setelah variabel lain dalam model diperhitungkan. Singh dan Sharma (2022) meninjau berbagai strategi optimalisasi konsumsi bahan bakar dalam transportasi udara sedangkan Ekici et al. (2023) membahas penghematan bahan bakar dan perhitungan emisi dalam konteks operasi maskapai. Sedangkan pada pada model penelitian ini potensi efisiensi operasional EOTI belum terbukti menghasilkan pengaruh langsung yang signifikan terhadap penurunan emisi.

5. Pengaruh *Reduce Landing Flap* Terhadap Penurunan Emisi Karbon CO_2

RLF menunjukkan pengaruh signifikan terhadap penurunan emisi CO_2 tetapi koefisiennya negatif (β = −12,19965; p < 0,05) dan karena hipotesis memprediksi pengaruh positif maka H5 ditolak. Arah negatif ini menunjukkan bahwa dalam spesifikasi Model 2, peningkatan penerapan RLF berkaitan dengan nilai CO_2 *saving* yang lebih rendah berlawanan

dengan arah yang dihipotesiskan. Wunderli et al. (2024) membahas hubungan antara sistem bantuan pilot, pendekatan yang dioptimalkan dari sisi energi, konsumsi bahan bakar, dan kebisingan serta kajian tersebut juga menegaskan pentingnya kondisi dan pengelolaan energi selama pendekatan sehingga koefisien negatif pada penelitian ini harus dipahami sebagai hasil empiris model pada data yang diteliti bukan sebagai bukti bahwa prosedur RLF secara teknis selalu meningkatkan emisi. Lebih lanjut penelitian Otero et al (2022) menemukan bahwa kebisingan dan emisi sebanding dapat mengurangi konsumsi bahan bakar bakar.

6. Pengaruh *Reduce* APU *Usage* Terhadap Penurunan Emisi Karbon CO_2

Reduce APU *Usage* memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap penurunan emisi CO_2 ($\beta = 8{,}163443$; $p < 0{,}05$) sehingga H6 diterima. Pengurangan penggunaan APU dengan menggantinya melalui sumber daya listrik eksternal dapat menekan konsumsi bahan bakar selama *ground operation*. Padhra (2018) menemukan bahwa penyediaan listrik eksternal dapat mengurangi emisi yang berhubungan dengan penggunaan APU selama proses *turnaround*. Temuan tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini yaitu pengurangan penggunaan APU berkaitan dengan peningkatan CO_2 *saving*. Efektivitasnya tetap dipengaruhi ketersediaan dan kesiapan peralatan serta fasilitas pendukung di bandara.

7. Pengaruh Efisiensi Bahan Bakar Terhadap Penurunan Emisi Karbon CO_2

Efisiensi bahan bakar berpengaruh positif dan signifikan terhadap penurunan emisi CO_2 ($\beta = 3{,}099998$; $p < 0{,}05$) sehingga H7 diterima. Secara substantif penghematan bahan bakar berhubungan dengan penurunan emisi penerbangan karena optimalisasi konsumsi bahan bakar merupakan salah satu pendekatan yang dibahas dalam kajian efisiensi transportasi udara. Singh dan Sharma (2022) meninjau strategi optimalisasi konsumsi bahan bakar dan implikasinya bagi operasi penerbangan. Dalam penelitian ini CO_2 *saving* dihitung berhubungan langsung dengan *fuel saving* sehingga hubungan kuat antarkedua variabel perlu dipahami dalam konteks cara pengukurannya dan tidak ditafsirkan terlepas dari metode perhitungan variabel. Penelitian Pavel et al (2024) juga menemukan bahwa penggunaan bahan bakar yang efisien dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan merupakan langkah penting menuju keberlanjutan.

8. Peran Efisiensi Bahan Bakar Dalam Memediasi Pengaruh EOTI Terhadap Penurunan Emisi CO_2

Uji Sobel menunjukkan bahwa efisiensi bahan bakar memediasi hubungan EOTI dengan penurunan emisi CO_2 (nilai Sobel = 6,1704 > 1,96) sehingga H8 diterima. Temuan ini melengkapi hasil pengaruh langsung EOTI yang tidak signifikan. Dengan demikian keterkaitan EOTI dengan penurunan emisi lebih terlihat melalui penghematan bahan bakar sebagai mekanisme perantara. Penjelasan tersebut sejalan dengan Kameníková et al. (2022) yang membahas potensi efisiensi dari prosedur *single engine taxiing* dan konsisten dengan temuan mediasi bahwa pengaruh EOTI pada data ini lebih terlihat melalui efisiensi bahan bakar.

9. Peran Efisiensi Bahan Bakar Dalam Memediasi Pengaruh RLF Terhadap Penurunan Emisi CO_2

Efisiensi bahan bakar dinyatakan memediasi hubungan RLF dengan penurunan emisi CO_2 berdasarkan nilai Sobel 11,4636 yang melebihi nilai kritis 1,96 sehingga H9 diterima. Temuan ini perlu difahami secara bersamaan terkait koefisien langsung RLF yang negatif pada Model 2: hubungan langsung dan jalur tidak langsung menunjukkan arah yang berbeda dalam hasil estimasi. Hasil ini sejalan dengan penelitian Oliveira (2026) yang membahas faktor-faktor yang mempengaruhi kepatuhan pilot terhadap *Green Operating Procedures* termasuk konteks penerapan prosedur dalam operasi penerbangan. Dengan demikian hasil mediasi menunjukkan

peran efisiensi bahan bakar sebagai jalur perantara, sedangkan arah pengaruh langsung RLF tetap berbeda dari hipotesis awal.

10. Peran Efisiensi Bahan Bakar Dalam Memediasi Pengaruh *Reduce* APU *Usage*Terhadap Penurunan Emisi CO_2

Uji Sobel pada jalur *Reduce* APU *Usage* → efisiensi bahan bakar → penurunan emisi CO_2 menghasilkan nilai 39,3488 atau lebih besar daripada nilai kritis 1,96 sehingga H10 diterima. Hasil ini menunjukkan bahwa efisiensi bahan bakar merupakan mekanisme perantara yang menjelaskan keterkaitan pengurangan penggunaan APU dengan penurunan emisi. Padhra (2018) menunjukkan bahwa penyediaan pasokan listrik eksternal dapat mengurangi emisi yang berhubungan dengan penggunaan APU selama *turnaround*. Temuan tersebut mendukung penjelasan bahwa pengurangan penggunaan APU dapat berhubungan dengan penghematan bahan bakar dan selanjutnya dengan penurunan estimasi emisi CO_2.

Temuan utama penelitian ini (*novelty*) adalah bahwa kontribusi *Green Operating Procedure* terhadap penurunan emisi CO_2 tidak seragam pada seluruh prosedur dan perlu dibedakan antara pengaruh langsung dan pengaruh melalui efisiensi bahan bakar. EOTI tidak terbukti berpengaruh langsung secara signifikan terhadap penurunan emisi tetapi jalur tidak langsungnya melalui efisiensi bahan bakar terbukti berpengaruh signifikan. RLF menunjukkan pengaruh langsung yang signifikan namun berarah negative sedangkan jalur tidak langsung melalui efisiensi bahan bakar dinyatakan signifikan. *Reduce* APU *Usage* memperlihatkan pengaruh positif dan signifikan baik terhadap efisiensi bahan bakar maupun penurunan emisi, serta jalur mediasi yang signifikan. Berdasarkan hal tersebut maka kontribusi konseptual penelitian terletak pada penegasan bahwa efisiensi bahan bakar merupakan mekanisme penting yang menghubungkan praktik GOP dengan estimasi penurunan emisi tetapi pola hubungan berbeda menurut jenis prosedurnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasakan temuan penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Engine Out Taxi In* (EOTI) berpengaruh positif dan signifikan terhadap efisiensi bahan bakar. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan EOTI berhubungan dengan peningkatan penghematan bahan bakar selama operasional penerbangan.
2. *Reduce Landing Flap* (RLF) berpengaruh positif dan signifikan terhadap efisiensi bahan bakar. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan prosedur RLF berkontribusi terhadap efisiensi penggunaan bahan bakar.
3. *Reduce APU Usage* berpengaruh positif dan signifikan terhadap efisiensi bahan bakar. Temuan ini mengindikasikan bahwa pengurangan penggunaan *Auxiliary Power Unit* (APU) dapat mendukung penghematan bahan bakar.
4. EOTI tidak berpengaruh signifikan secara langsung terhadap penurunan emisi karbon CO_2. Dengan demikian hipotesis yang menyatakan adanya pengaruh positif langsung EOTI terhadap penurunan emisi CO_2 tidak didukung oleh hasil pengujian.
5. RLF menunjukkan pengaruh signifikan dengan arah negatif terhadap penurunan emisi karbon CO_2. Hasil ini tidak sesuai dengan arah positif yang dihipotesiskan sehingga hipotesis pengaruh positif RLF terhadap penurunan emisi CO_2 ditolak.
6. *Reduce APU Usage* berpengaruh positif dan signifikan terhadap penurunan emisi karbon CO_2. Temuan ini menunjukkan bahwa pengurangan penggunaan APU berkaitan dengan peningkatan penghematan emisi karbon dalam model penelitian.
7. Efisiensi bahan bakar berpengaruh positif dan signifikan terhadap penurunan emisi karbon CO_2. Hasil ini memperlihatkan keterkaitan antara penghematan bahan bakar dan penghematan emisi CO_2 dengan tetap memperhatikan bahwa perhitungan CO_2 *saving* dalam penelitian ini berkaitan langsung dengan *fuel saving*.

8. Efisiensi bahan bakar memediasi hubungan EOTI dengan penurunan emisi karbon CO_2. Hasil uji Sobel sebesar 6,1704 menunjukkan bahwa pengaruh EOTI terhadap penurunan emisi CO_2 melalui efisiensi bahan bakar signifikan.
9. Efisiensi bahan bakar memediasi hubungan RLF dengan penurunan emisi karbon CO_2. Hasil uji Sobel sebesar 11,4636 menunjukkan adanya pengaruh tidak langsung yang signifikan melalui efisiensi bahan bakar meskipun pengaruh langsung RLF terhadap CO_2 *saving* memiliki arah negatif.
10. Efisiensi bahan bakar memediasi hubungan *Reduce APU Usage* dengan penurunan emisi karbon CO_2. Hasil uji Sobel sebesar 39,3488 menunjukkan bahwa efisiensi bahan bakar merupakan jalur mediasi yang signifikan pada hubungan tersebut.

Keterbatasan

Penelitian ini terbatas pada data operasional pesawat Airbus A330 selama Januari 2024 sampai Desember 2025 pada empat rute internasional yaitu CGK–SYD, CGK–MEL, CGK–PVG, dan CGK–ICN. Oleh karena itu maka hasilnya belum tentu dapat digeneralisasikan pada tipe pesawat, rute, dan periode operasional yang berbeda. Analisis juga berfokus pada tiga prosedur GOP yaitu EOTI, RLF, dan *Reduce APU Usage* sehingga faktor operasional lain yang dapat mempengaruhi penghematan bahan bakar dan emisi belum mencakup secara keseluruhan.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka pihak Garuda Indonesia disarankan untuk mengoptimalkan penerapan *Green Operating Procedure* (GOP) terutama EOTI, RLF, dan *Reduce APU Usage* melalui penguatan kepatuhan prosedur operasional, ketersediaan fasilitas pendukung darat, serta monitoring *fuel saving* dan CO_2 *saving*. Evaluasi terhadap RLF juga perlu ditingkatkan karena menunjukkan perbedaan pengaruh terhadap efisiensi bahan bakar dan penghematan emisi karbon. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan variabel operasional lain, memperluas analisis berdasarkan karakteristik rute dan bandara, dan lebih menyempurnakan pengujian model statistik agar memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai efektivitas GOP dalam meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi emisi karbon pada penerbangan Airbus A330

Kontribusi Author

Penulis bertanggung jawab dalam perumusan konsep penelitian, pengumpulan data, analisis data, penyusunan naskah, pengembangan kerangka konseptual, interpretasi hasil penelitian, serta proses penelaahan dan penyempurnaan naskah. Penulis juga telah membaca ulang seluruh naskah jurnal dan menganggap naskah ini adalah versi akhir artikel yang diterbitkan.

Pernyataan Pengungkapan AI

Penulis menyatakan bahwa naskah penelitian ini disiapkan, diteliti, ditulis, dan disunting secara mandiri tanpa menggunakan bantuan teknologi atau teknik kecerdasan buatan (AI).

Acknowlegment (Opsional)

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada pihak Garuda Indonesia dan seluruh pihak yang telah memberikan dukungan serta informasi yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu proses pengumpulan dan pengolahan data terkait penerapan *Green Operating Procedure* (GOP) pada operasional pesawat Airbus A330. Selain itu penulis menghargai segala bentuk dukungan, masukan, dan motivasi yang telah berkontribusi terhadap penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

Bashatah, J.A. and Sherry, L. (2025) 'Comparative Analysis of Standard Operating Procedures Across Safety-Critical Domains: Lessons for Human Performance and Safety Engineering', *Systems*, 13(8), pp. 1–21. Available at: https://doi.org/10.3390/systems13080717.

Baxter, G. (2022) 'Mitigating Aircraft Auxiliary Power Unit Carbon Dioxide (CO 2) Emissions During the Aircraft Turnaround Process from the Use of Solar Power at the Airport Gate : The Case of Moi International Airport, Kenya', *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 7(1), pp. 14–22. Available at: https://doi.org/10.22161/ijeab.

Dahanayaka, M., Prak, D. and Mes, M. (2026) 'From gate to runway: A systematic review of airport ground operations optimization', *Journal of Air Transport Management*, 135, pp. 103–113. Available at: https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2026.103013.

Gerber, M. *et al.* (2026) 'Improving aircraft energy and flightpath management through pilot support functions: demonstration of optimized continuous descent approaches with the Airbus A320neo at Zurich airport', *CEAS Aeronautical Journal*, 17(3), pp. 1209–1235. Available at: https://doi.org/10.1007/s13272-025-00924-0.

Hao, L. *et al.* (2021) 'Estimating fuel burn impacts of taxi-out delay with implications for gate-hold benefits', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 80, pp. 454–466. Available at: https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.05.015.

Hartono (2019) *Metodologi Penelitian*. 1st edn. Pekanbaru: Zanafa Publishing.

Humaira, N. *et al.* (2020) 'The Effect Of Price And Paid Baggage Towards Customer Loyalty Through Purchasing Decision Of Lion Air Airline', *Advances In Transportation and Logistics Research*, 3, pp. 287–295. Available at: https://doi.org/10.25292/atlr.v3i0.283.

Kameníková, I. *et al.* (2022) 'Application of the single-engine taxi-out procedure for commercial transport, focusing on the Airbus A320 fleet', *Transportation Research Procedia*, 65, pp. 126–132. Available at: https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.11.015.

Kistamah, H. (2026) 'Green aviation practices in Singapore and Malaysia: A two-country exploratory policy analysis', *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 38, pp. 102–134. Available at: https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trip.2026.102134.

Klimczyk, W. *et al.* (2025) 'Sustainable Aviation Fuels: A Comprehensive Review of Production Pathways, Environmental Impacts, Lifecycle Assessment, and Certification Frameworks', *Energies*, 18(14), pp. 1–21. Available at: https://doi.org/10.3390/en18143705.

Mayer, B. and Ding, Z. (2023) 'Climate Change Mitigation in the Aviation Sector: A Critical Overview of National and International Initiatives', *Transnational Environmental Law*, 12(1), pp. 14–41. Available at: https://doi.org/10.1017/S204710252200019X.

Otero, E., Tengzelius, U. and Moberg, B. (2022) 'Flight Procedure Analysis for a Combined Environmental Impact Reduction: An Optimal Trade-Off Strategy', *Aerospace*, 9(11), pp. 1–15. Available at: https://doi.org/10.3390/aerospace9110683.

Padhra, A. (2018) 'Emissions from auxiliary power units and ground power units during intraday aircraft turnarounds at European airports', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, pp. 433–444. Available at: https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.06.015.

Pavel, T., Polina, S. and Liubov, N. (2024) 'The research of the impact of energy efficiency on mitigating greenhouse gas emissions at the national level', *Energy Conversion and Management*, 314, pp. 118–131. Available at:

https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118671.

Puspitarini, N. and Azaria, D.P. (2026) 'Integrasi Perlindungan Padang Lamun sebagai Ekosistem Karbon Biru dalam Penguatan Mitigasi Iklim di Indonesia', *Seikat : Jurnal Ilmu Sosial, Politik, dan Hukum*, 5(3), pp. 609–625. Available at: https://doi.org/10.55681/seikat.v5i3.2198.

Riley, K. *et al.* (2021) 'A systematic review of the impact of commercial aircraft activity on air quality near airports', *City and Environment Interactions*, 11, pp. 1–9. Available at: https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cacint.2021.100066.

Singh, V. and Sharma, S.K. (2022) 'Fuel consumption optimization in air transport: a review, classification, critique, simple meta-analysis, and future research implications', *European Transport Research Review*, 7(2), p. 12. Available at: https://doi.org/10.1007/s12544-015-0160-x.

Sugiyono (2022) *Metode Penelitian : Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Wunderli, J.M. *et al.* (2024) 'Pilot Assistance Systems for Energy-Optimized Approaches: Is It Possible to Reduce Fuel Consumption and Noise at the Same Time?', *Aerospace*, 11(6), pp. 1–18. Available at: https://doi.org/10.3390/aerospace11060450.

Zengerling, Z.L. *et al.* (2023) 'Operational Improvements to Reduce the Climate Impact of Aviation—A Comparative Study from EU Project ClimOP', *Applied Sciences*, 13(16), pp. 1–12. Available at: https://doi.org/10.3390/app13169083.