

Perhitungan Carbon Emissions Pesawat Berukuran Sedang Rute Bandara Internasional Surabaya ke Bandara Internasional Soekarno Hatta Jakarta

Calculation of Carbon Emissions for Medium Aircraft Category Juanda Surabaya International Airport to Jakarta Soekarno Hatta International Airport

Imam Sonhaji^{a,1*}

^a Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Curug, Tangerang, Indonesia

^{1*} imam.sonhaji@ppicurug.ac.id

*corresponding e-mail

ABSTRACT

Carbon Emissions from aviation can affect health and climate change. This study aims to calculate the amount of Carbon Emissions produced. This study aims to examine data, analyze, and calculate Carbon Emissions produced by medium-sized aircraft (medium aircraft category) with a flight distance approach based on the demand factor for the number of passengers on the Juanda International Airport Surabaya route and Soekarno Hatta International Airport Jakarta. The method used is qualitative with the ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology tool. The results showed that the Carbon Emissions CO₂ generated from flight activities on the route was an average of 72,29 kg per passenger, while the total amount of Carbon Emission CO₂ generated from flight activities from March 2019 to March 2020 averaged 24.351 tons CO₂ per month.

Keywords: carbon emission, climate, fuel consumption

ABSTRAK

Carbon emissions hasil dari penerbangan dapat berpengaruh terhadap kesehatan dan perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji, menganalisis, dan menghitung data Carbon Emissions yang dihasilkan pesawat berukuran sedang (medium aircraft category) dengan pendekatan jarak terbang berdasarkan faktor demand jumlah penumpang pada rute Bandara Internasional Juanda Surabaya dan Bandara Internasional Soekarno Hatta Jakarta. Metode yang digunakan adalah kualitatif menggunakan ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Carbon Emission CO₂ yang dihasilkan dari aktifitas penerbangan pada rute tersebut rata-rata sebesar 72,29 kg per penumpang, sedangkan jumlah total Carbon Emissions CO₂ yang dihasilkan dari aktifitas penerbangan dari Maret 2019 sampai Maret 2020 rata – rata sebesar 24.351 ton CO₂ per bulan.

Kata kunci : emisi karbon, iklim, konsumsi bahan bakar

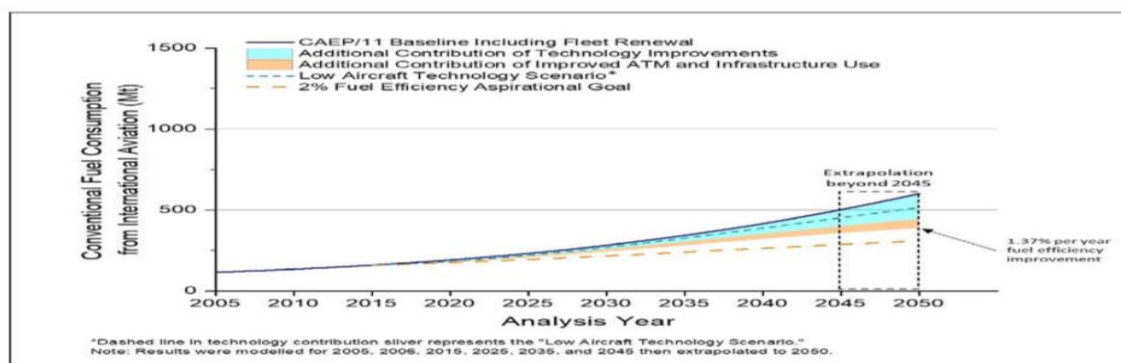
A. Pendahuluan

Membahas tentang masalah lingkungan dalam dunia penerbangan merupakan hal

yang masih baru namun perlu upaya yang serius dalam penanganannya. Hal tersebut menyangkut masa depan dari alam yang kita

cintai, sehingga pelaku penerbangan perlu mengambil peran penting tersebut. Ada beberapa poin penting dalam penanganan lingkungan yakni *Aircraft Engine Greenhouse Gas (GHG) emissions that affect the global climate, Aircraft Noise, and Aircraft Engine Emissions that affect Local Air Quality*

(LAQ), sehingga untuk membatasi *Carbon Emission* beberapa negara maju inisiasi penerapan *Aviation Carbon Tax (ACT)* agar dapat terkendali dan terukur. Meski beberapa negara berkembang menolak, namun hal tersebut akan tetap berlaku ke depannya (Zheng et al., 2017).

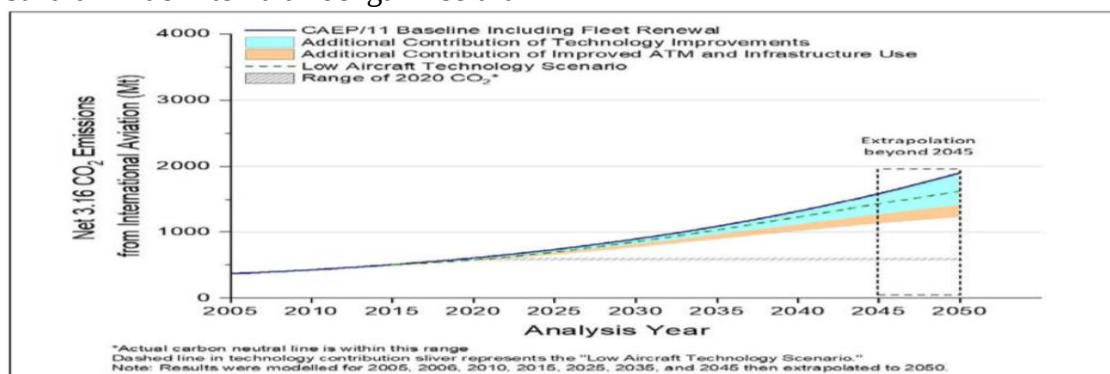


Sumber : (ICAO, 2019)

Gambar 1. Diagram Analisa Penggunaan Bahan Bakar pesawat 2005 - 2050.

Gambar 1 di atas merupakan data pembakaran bahan bakar pesawat 2005 - 2050 yang menjelaskan bahwa kondisi saat ini dan prediksi dari ICAO mengenai hasil pembakaran fuel terkait dengan seluruh

aktifitas penerbangan di dunia serta target efisiensi pembakaran tersebut sebesar 2% sehingga karbon yang dihasilkan dapat terkontrol sesuai dengan tujuannya.



Sumber : (ICAO, 2019)

Gambar 2. Diagram Analisa Emisi Carbon

Berdasarkan Gambar 2 di atas dijelaskan bahwa kondisi *carbon emission* hasil pembakaran aktifitas penerbangan akan terus meningkat selaras dengan perkembangan penerbangan yang sangat pesat, namun target dari ICAO sendiri dapat menurunkan kondisi tersebut melalui penguatan teknologi dan *Air Traffic Management Scenario*.

Carbon Emission yang dihasilkan oleh mesin pesawat berupa timbal dalam jumlah

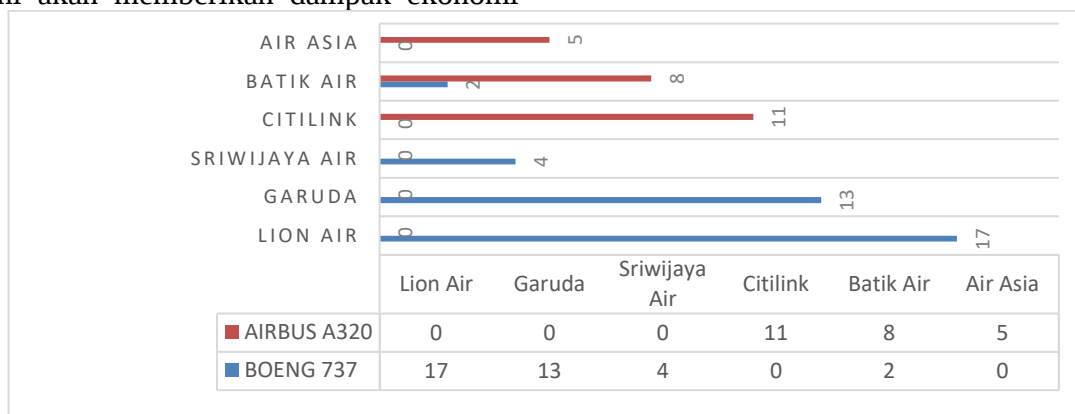
banyak akan berdampak pada kesehatan, terutama pada anak-anak, dan akan mengakibatkan kerusakan pada saraf dan kognitif (Thanikasalam et al., 2018). Penelitian lainnya menyatakan bahwa dengan meningkatnya jumlah penerbangan dunia berdampak pada meningkatnya jumlah *Carbon Emission* berupa *Black Carbon* yang mengakibatkan perubahan iklim, lingkungan dan kesehatan masyarakat (Zhang et al., 2019). Pemerintah China bergerak untuk

menangani perubahan iklim akibat *Carbon Emission* dengan model pengendalian pembatasan khusus *Carbon Emission* seperti *Emissions Trading System* (ETS) dan *The Carbon Allowance Allocation* (CAA) sehingga operator penerbangan harus memenuhi kriteria yang berlaku (Tang & Hu, 2019).

Di dunia penerbangan, upaya untuk mengurangi *Carbon Emission* dapat dicapai dengan cara mengurangi jarak tempuh terbang, mengurangi beban pesawat, dan penggunaan *biofuel* untuk peningkatan efisiensi bahan bakar pesawat (Lin, 2020). Penelitian di Jepang menemukan bahwa untuk mengurangi *Carbon Emission* tidak cukup dengan hanya modernisasi teknologi pesawat namun juga perlu penyelarasan dengan strategi operator pesawat (*airline*) (Kito et al., 2020). Dengan memperhitungkan penggunaan bakar pesawat yang tepat, maka hal ini akan memberikan dampak ekonomi

bagi maskapai penerbangan dan membantu mewujudkan *green economy* yang berkelanjutan serta mengurangi pencemaran lingkungan (Li et al., 2021). Selain itu, di Eropa terdapat implikasi antara pembuat kebijakan atau regulator dan operator maskapai penerbangan dimana dorongan untuk optimalisasi strategi maskapai berdampak negatif terhadap lingkungan sedangkan aturan yang diterbitkan mengarah pada pembatasan dan pengurangan *Carbon Emission* kepada seluruh operator maskapai penerbangan (Yue & Byrne, 2021), sehingga diperlukan adanya harmonisasi diantara keduanya agar perspektif yang ada dapat berjalan beriringan.

Indonesia yang merupakan salah satu anggota ICAO juga mulai memikirkan hal tersebut sehingga beberapa kebijakan dan regulasi akhir-akhir ini sudah mengarah pada penanganan lingkungan.



Sumber: Data Sekunder 2020

Gambar 3. Diagram Data Penerbangan 2019 – 2020 Surabaya - Cengkareng

Diagram gambar 3 diatas merupakan data Penerbangan tahun 2019 - 2020 rute Surabaya - Jakarta melalui Bandara Internasional Juanda dan Bandara Internasional Soekarno Hatta. Dari data tersebut diatas, tergambar bahwa jumlah penerbangan dari Bandara Internasional Juanda Surabaya menuju Bandara Internasional Soekarno Hatta Jakarta cukup tinggi dan didominasi oleh pesawat berukuran sedang atau medium. Hal ini menarik perhatian apabila dalam satu hari penuh keseluruhan pesawat beroperasi normal

dengan jumlah penumpang rata-rata terisi 90 persen maka sudah bisa tergambar bagaimana dampak lingkungan yang ditimbulkan dari aktifitas penerbangan tersebut baik dalam *fuel consumption* maupun *carbon emission* yang dihasilkan.

Secara global *carbon emission* yang dihasilkan oleh penerbangan sipil tidak diijinkan melebihi 250 kg/jam terbang per penumpang dan seluruh operator penerbangan harus mematuhi sehingga jumlah *carbon emission* dapat dikendalikan (Ian Campbell, 2022). Beberapa negara luar menerapkan

kebijakan untuk membatasi *carbon emission* yang dihasilkan yakni melalui “*carbon tax*” sehingga semua pihak juga ikut berkontribusi dalam pembatasan *carbon emission* (Gallastegui et al., 2012). Mengingat pentingnya fenomena *CO₂ emissions* tersebut maka diperlukan telaah mendalam karena *carbon emission* yang dihasilkan oleh aktifitas penerbangan berdampak tidak hanya kepada efek gas rumah kaca (GKR) namun juga terhadap kesehatan manusia. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji data, menganalisis dan menghitung *carbon emissions* yang dihasilkan pesawat berukuran sedang (*medium aircraft category*) dengan pendekatan jarak terbang berdasarkan faktor *demand* jumlah penumpang pada rute Bandara Internasional Juanda Surabaya dan Bandara Internasional Soekarno Hatta Jakarta.

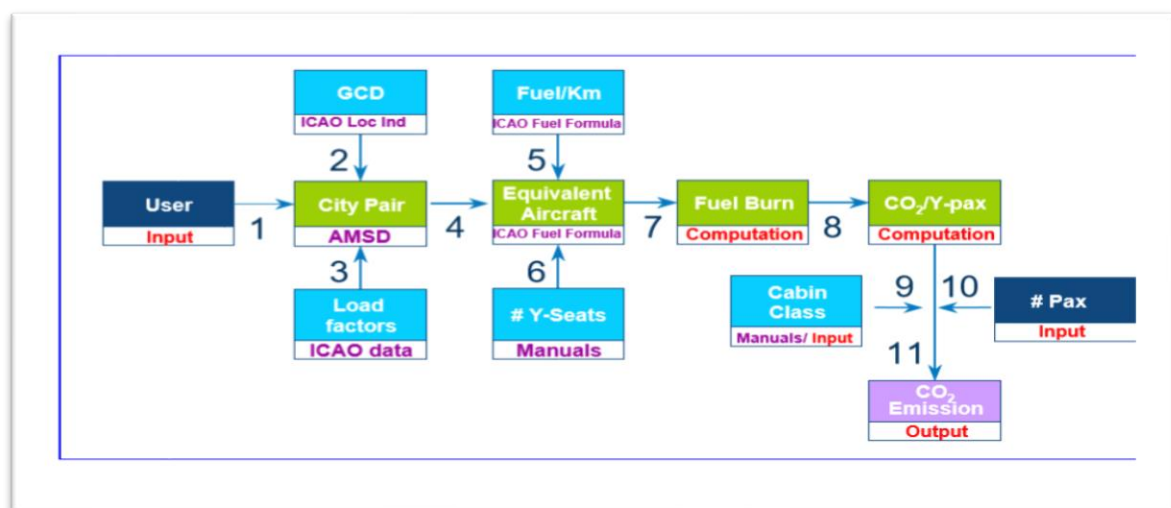
B. Metode Penelitian

Dalam penelitian kualitatif ini, metode penelitian yang penulis gunakan adalah Metode Deskriptif, yaitu penelitian dengan memberikan gambaran atau uraian atas suatu

keadaan sejelas mungkin tanpa ada perlakuan atau tindakan apapun terhadap obyek yang diteliti (Raco, 2018). Hal-hal yang penulis lakukan melalui pendekatan metode deskriptif antara lain:

1. Melakukan observasi pasif ke lapangan dan membuat kontak dengan subjek untuk meneliti pergerakan lalu lintas penerbangan.
2. Mencari dan mengumpulkan data dan informasi di lokasi penelitian untuk dianalisis dan hasilnya diharapkan mampu menghasilkan informasi-informasi yang lebih bermakna.

Model perhitungan penelitian ini menggunakan pendekatan a *distance-based approach* artinya mendasari tipe pesawat yang digunakan dalam penerbangan tersebut dikaitkan seberapa jauh jarak tempuh sehingga sangat mempengaruhi jumlah bahan bakar yang digunakan serta *emisi carbon* yang dihasilkan (ICAO, 2017). Untuk prosedur perhitungan emisi karbon pada aktifitas penerbangan digambarkan melalui diagram *flowcard* pada gambar 3 dibawah ini.



Sumber: (ICAO, 2017)

Gambar 4. Flowchart Perhitungan Carbon Emission

Gambar 4 menunjukan langkah dalam perhitungan *Carbon Emission*. Perhitungan ini membutuhkan beberapa sumber data yakni:

1. *Fuel data*

Prinsip dasar perhitungan *carbon emission* ini memperkirakan jumlah bahan bakar yang digunakan maskapai dalam penerbangan tersebut.

2. *Trip distance*

Jarak tempuh pesawat sangat erat sekali hubungannya dengan proses ini, dikarenakan dasar perhitungan jarak merupakan acuan utama untuk keseluruhan proses penelitian ini. Penelitian ini menghitung jarak antara 2 (dua) titik bandara melalui *latitude* dan *longitude* pada *aerodrome reference point* (ARP).

3. Aircraft type

Carbon Emission CO₂ dihitung dari bahan bakar yang dibakar oleh pesawat yang melayani rute tertentu. Pesawat diidentifikasi dari basis data penerbangan terjadwal, dan dipetakan ke dalam salah satu dari 312 jenis pesawat yang setara yang ada dalam database konsumsi bahan bakar pesawat.

4. Passenger Load Factor and Passenger to Cargo Factor

Dalam setiap penerbangan tidak hanya jumlah penumpang yang dipertimbangkan, namun juga jumlah cargo yang dibawa selama penerbangan berlangsung, sehingga ini faktor tersebut juga dipertimbangkan. Untuk menghitungnya dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\frac{((No.Passengers*100Kg)+(No.ofseats*50Kg))/1000(tonnes)+Freight(tonnes)+Mail(tonnes)}{(1)} \quad (1)$$

Perhitungan *Passenger Load Factor* and *Passenger to Cargo Factor* dapat dilakukan dengan dasar data *historical* jumlah penumpang, kargo dan surat dari kota pengirim ke kota tujuannya, dan ICAO sudah mempublikasikan nilai tersebut tiap tahunnya. untuk menghitung jumlah *Carbon Emission* per penumpang dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CO_2 \text{ per pax} = 3.16 * \frac{\text{total fuel} * \text{pax-to-freight factor}}{\text{number of y-seats} * \text{pax load factor}} \quad (2)$$

Keterangan: **3.16** adalah konstanta, **total fuel** adalah berat rata-rata bahan bakar pesawat dari bandara asal ke bandara tujuan, **pax-to-freight factor** adalah rasio perbandingan jumlah penumpang dan kargo dan surat di grup rute yang ditentukan, **number of y-seats** adalah jumlah penumpang ekonomi, **pax load factor** adalah rasio perbandingan jumlah penumpang dan jumlah kursi duduk yang tersedia di rute grup.

5. Cabin class

Faktor koreksi *Cabin Class* hanya digunakan pada jenis pesawat setara yang mendukung diferensiasi tersebut, dan pada penerbangan lebih dari 3.000 Km. Itu didasarkan pada prinsip bahwa kursi premium menempati ruang yang lebih besar daripada kursi ekonomi, oleh karena itu kabin yang sama yang dikonfigurasi dengan pengaturan kursi premium membawa lebih sedikit penumpang daripada tata letak semua kursi ekonomi.

C. Hasil dan Pembahasan

Transportasi udara saat ini menjadi moda primadona mengingat waktu tempuh yang relatif lebih cepat daripada moda transportasi lainnya sehingga peningkatan jumlah penerbangan menjadi sangat masif. Hal ini menjadi hal sangat strategis apabila dikelola dengan baik sepanjang didukung dengan pelayanan bandara yang mumpuni pula sehingga kepuasan pengguna pelayanan penerbangan juga dapat memberikan sumbangsih bagi pesatnya penerbangan di Indonesia. Bandara Internasional Juanda Surabaya merupakan bandara yang melayani penerbangan domestik maupun internasional yang berada di Kabupaten Sidoarjo. Bandara ini mencakup wilayah masyarakat Jawa Timur dan sekitarnya seperti Surabaya, Sidoarjo, Gresik, Lamongan, Kediri Pasuruan dan seterusnya. Sedangkan Bandara Internasional Soekarno Hatta Jakarta merupakan bandara terbesar di Indonesia yang dilengkapi dengan 3 (tiga) landasan pacu. Bandara ini termasuk bandara yang

sangat sibuk atau padat di setiap rutenya, melayani penerbangan ke hampir seluruh kota di Indonesia. Mengingat bandara tersebut berada dekat dengan ibu kota negara sehingga sudah dipastikan aktifitas penerbangannya

sangat padat. Dalam penelitian ini dibutuhkan titik awal atau *Aerodrome Reference Point (ARP)* antar bandara sehingga dapat dihitung jarak yang tepat

Tabel 1. Data *Aerodrome Reference Point (ARP)*

Bandara/ ICAO Code/ IATA Code	<i>Aerodrome Reference Point (ARP)</i>
Bandara Int. Juanda Surabaya/ WARR/SUB	07° 22.8' S 112° 47.2' E
Bandara Int Soekarno Hatta Jakarta/ WIII/ CGK	06° 07.4'S 106° 39.7'E

Sumber: AIP 2019

Tabel 1. merupakan data ARP Bandara Internasional Juanda Surabaya dan Bandara Internasional Soekarno Hatta Jakarta sebagai dasar perhitungan jarak tempuh bandara tersebut. Pada perhitungan jarak kedua bandara tersebut diperoleh angka 694,78 km

Selanjutnya adalah menghitung *Great Circle Distance (GCD)*. *GCD* adalah metode mengukur jarak terdekat antara dua *point geographical*. Untuk perhitungannya dapat dijelaskan sebagai berikut:

Tabel 2. *Correction Factor GCD*

GCD	Correction to GCD
Less than 550 Km	+ 50 Km
Between 550 Km and 5500 Km	+ 100 Km
Above 5500 Km	+ 125 Km

Sumber : (ICAO, 2017)

Tabel 2 merupakan *Correction Factor* yang sudah ditentukan sehingga dapat dihitung nilai GCD dari Bandara Internasional Juanda Surabaya Ke Bandara Internasional Soekarno Hatta Jakarta sebesar 694,78 km + 100 km = 794,78 km atau setara dengan 429,14 NM. Untuk menentukan *Load Factor* berdasarkan data yang masuk di ICAO dari seluruh penerbangan dunia maka ICAO sudah menentukan *load factor* penerbangan di area-area yang ditetapkan, sedangkan penelitian ini termasuk pada area ***Internal South East Asia***

Tabel 3. Passenger Load Factor & Passenger to Freight Factor

#	Route Group	Passenger Load Factor	Passenger to Freight Factor
1	Intra North America	81.78%	93.34%
2	Intra North America	76.50%	79.99%
3	Intra Pacific Southeast Asia	76.05%	79.99%
4	Intra South America	77.40%	82.64%

Sumber: Load Factors by Route Group 2017

Dari data tabel 3 yang ditampilkan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa lokus

penelitian ini terletak di *SouthEast Asia* dengan *Passenger Load Factor* 76,05% dan *Passenger to Freight Factor* sebesar 79.99%.

Selanjutnya menyusun *Aircraft Mapping* dan menghitung *Fuel Data Burn*. Dalam kondisi normal jumlah penerbangan dari Bandara Internasional Juanda Surabaya ke Bandara Int Soekarno Hatta Jakarta sejumlah 60 kali yang tersebar pada 6 maskapai penerbangan yakni, Lion Air, Batik

Air, Sriwijaya Air, Citilink, Garuda Airline dan Airasia airline. Sedangkan jenis pesawat yang digunakan rata-rata adalah pesawat dengan kategori sedang atau menengah (*Medium Aircraft Category*) yakni jenis Airbus 320 dan Boeng 737 800/900IR sehingga dalam penghitungan jumlah *Fuel Data Burn* dapat ditentukan melalui jarak tempuh yang sudah dihitung sebelumnya

Table 4. *Fuel Data Burn*

Aircraft type	Flight Distance (nm) / Fuel Consumption (kg)			
	125	250	500	750
A 320	1672	3430	4585	6212
B 737 300	1616	3323	4462	6061
B 737 400	1685	3482	4707	6061
B 737 800	1715	3494	4621	6221
B 737 900	1782	3641	4839	6533

Sumber: ICAO Fuel Consumption

Dari table diatas dapat disimpulkan bahwa jumlah *Fuel Data Burn* setiap jenis pesawat adalah sebagai berikut

1. Type A 320 dengan jarak tempuh 429,14 NM
 $429,14/500 \times 4585 = 3935.21 \text{ kg}$
2. Type B 737 800 dengan jarak tempuh 429,14 NM adalah
 $429,14/500 \times 4621 = 3966.11 \text{ kg}$
3. Type B 737 900 dengan jarak tempuh 429,14 NM adalah
 $429,14/500 \times 4839 = 4153,21 \text{ kg}$

Sehingga dapat disimpulkan konsumsi fuel rata – rata adalah 4028,17 Kg

Langkah terakhir adalah menghitung Emisi CO₂ *per passenger*. Dalam model perhitungan Emisi CO₂ per passenger di bagi dalam 2 kelas yakni kelas ekonomi dan kelas premium (*bisnis class* atau *first class*). Pembagian tersebut didasari oleh luasan dari tempat duduk per penumpang dengan perbandingan 1 : 2 , namun pembagian kelas tersebut (ekonomi dan premium) hanya

digunakan untuk perhitungan jumlah emisi dengan jarak tempuh 3000 km atau lebih. Dalam perhitungan model saat ini, jarak antara kota Surabaya ke kota Jakarta adalah 794,78 KM sehingga perhitungan ekonomi dan premium dianggap sama. Dari rumus perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa jumlah emisi CO₂ setiap jenis pesawat adalah sebagai berikut:

1. Tipe A 320 jarak tempuh 429,14 NM Fuel yang dibutuhkan 3935.21 kg, maka

$$\text{CO}_2 \text{ per pax} = 3.16 * \frac{3935,21\text{kg} * 79.99\%}{180 * 76,05\%}$$

Jadi jumlah Emisi CO₂ per Pax = 72,6 Kg

2. Tipe B 737 800 Jarak tempuh 429,14 NM, Fuel yang dibutuhkan = 3966.11 kg

$$\text{CO}_2 \text{ per pax} = 3.16 * \frac{3966.11 \text{ kg} * 79.99\%}{186 * 76,05\%}$$

Jadi jumlah Emisi CO² per Pax = 70,87 Kg

3. Tipe B 737 900 ER Jarak tempuh 429,14 NM, Fuel yang dibutuhkan = 4153,21kg

$$\text{CO}_2 \text{ per pax} = 3.16 * \frac{4153,21\text{kg} * 79.99\%}{188 * 76,05\%}$$

Jumlah rata – rata emisi CO₂ per pax sebesar 72,29 kg. Perhitungan jumlah total emisi karbon CO₂ pada rute tertentu sangatlah dipengaruhi oleh padat tidaknya rute tersebut.

Makin tinggi frekuensi penerbangan yang melewati maka makin tinggi pula jumlah CO₂ yang akan dihasilkan.

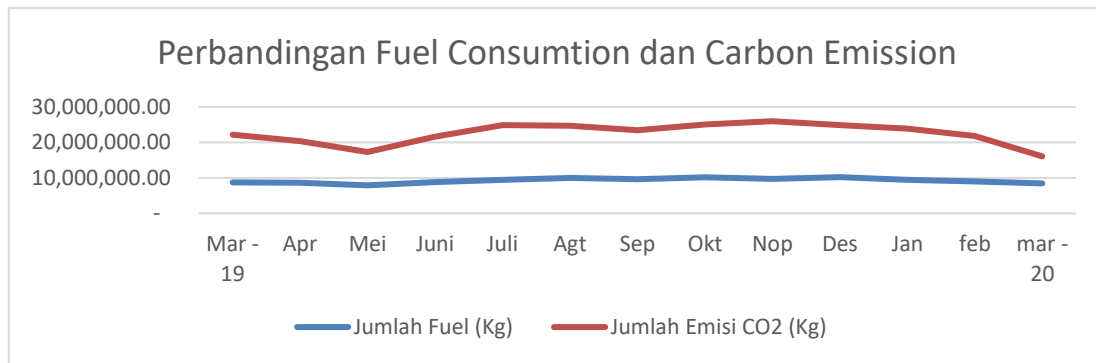
Tabel 5. Emisi CO₂ per Bulan

Bulan	Frekuensi Penerbangan	Jumlah Penumpang	Jumlah Fuel (Kg)	Jumlah Emisi CO ²
Mar -19	2174	306.728	8,757,241.58	22,173,367.12
Apr	2133	281.770	8,592,086.61	20,369,153.30
Mei	1961	239.606	7,899,241.37	17,321,117.74
Jun	2199	299.002	8,857,945.83	21,614,854.58
Jul	2340	344.464	9,425,917.80	24,901,302.56
Agt	2488	341.249	10,022,086.96	24,668,890.21
Sep	2381	324.747	9,591,072.77	23,475,960.63
Okt	2520	346.339	10,150,988.40	25,036,846.31
Nop	2418	359.263	9,740,115.06	25,971,122.27
Des	2534	344.329	10,207,382.78	24,891,543.41
Jan	2334	307.310	9,401,748.78	23,908,543.99
Feb	2239	301.808	9,019,072.63	21,817,700.32
Mar -20	2110	222.342	8,499,438.70	16,073,103.18
Jumlah	29,831	4,042,378	120,164,339.27	292,223,505.62
Rata - Rata	2,485.92	336,864.83	10,013,694.94	24,351,958.80

Sumber: Data diolah peneliti

Tabel 5 di atas menunjukkan bahwa dari data kompilasi dari seluruh penumpang dari masing – masing operator/ *airline* maka jumlah total emisi karbon CO₂ yang dihasilkan dari aktifitas penerbangan dari Maret 2019 sampai Maret 2020 sebelum pandemi Covid -19. Dengan rata – rata

frekuensi penerbangan sejumlah 2485 penerbangan per bulan, jumlah penumpang rata-rata 336.864 orang per bulan, jumlah bahan bakar pesawat yang diperlukan sebanyak 10.013.694 kg dihasilkan *Carbon Emission* sebesar 24.351 ton CO₂ per bulan atau 811,7 Ton CO₂ per hari.



Sumber: Data diolah Peneliti

Gambar 5 Perbandingan *Fuel Consumption* dan *Carbon Emissions*

Gambar 5 menunjukkan bahwa jumlah *fuel consumption* akan meningkat seiring dengan meningkatnya frekuensi penerbangan dan jumlah penumpangnya, namun *Carbon Emissions* tetap harus ditekan atau diminimalisir. *Carbon Emissions* berhubungan erat dengan perubahan iklim. Jumlah *Carbon Emissions* yang besar dan bertahan di atmosfer dalam jangka waktu yang cukup lama merupakan salah satu faktor penyebab utama perubahan iklim (Terrenoire et al., 2019) sehingga kondisi alam menjadi, diantaranya fenomena efek rumah kaca. Apabila tidak ada regulasi yang mengatur jumlah *Carbon Emissions*, maka hal tersebut akan terus meningkat seiring dengan peningkatan permintaan penerbangan dan jumlah penumpangnya (Bows & Anderson, 2007). Salah satu model untuk peningkatan efisiensi jarak terbang yakni dengan penerapan *Continuous Descend Operation* (CDO) didukung *Performance Based Navigation* (PBN) sehingga bahan bakar menjadi lebih hemat dan *Carbon Emissions* menjadi lebih kecil (Errico & Di Vito, 2017). Mengurangi konsumsi bahan bakar pesawat adalah langkah paling efektif dalam menurunkan *Carbon Emissions* lebih lagi penggunaan bahan bakar *biofuel* (Johnson & Gonzalez, 2013).

D. Simpulan

Carbon Emissions yang dihasilkan pada penerbangan dari Bandara Internasional Juanda Surabaya menuju Bandara Internasional Soekarno Hatta Jakarta dengan kategori pesawat tipe menengah

menghasilkan emisi CO₂ antara 70.71 kg – 75.4 kg per penumpang, aktifitas penerbangan dari Maret 2019 sampai Maret 2020 sebelum Pandemi Covid-19. Dengan rata-rata frekuensi penerbangan sejumlah 2485 penerbangan per bulan, jumlah penumpang rata-rata 336.864 orang per bulan, jumlah bahan bakar pesawat sebanyak 10.013.694 kg per bulan akan dihasilkan *Carbon Emissions* sebesar 24.351 ton CO₂ per bulan. Kadar emisi CO₂ yang dihasilkan oleh pesawat pada rute tersebut masih di bawah standar yang ditetapkan namun ke depannya apabila pertumbuhan penerbangan secara kuantitas meningkat signifikan maka perlu diatur pembatasan *Carbon Emissions* dari seluruh aktifitas penerbangan di Indonesia sehingga pertumbuhan pasar penerbangan tetap dapat memperhatikan aspek lingkungan sebagai penerima efek akhir penerbangan.

E. Daftar Pustaka

- Bows, A., & Anderson, K. L. (2007). Policy clash: Can projected aviation growth be reconciled with the UK Government's 60% carbon-reduction target? *Transport Policy*, 14(2), 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2006.10.002>
- Errico, A., & Di Vito, V. (2017). Performance-based Navigation (PBN) with continuous descent operations (CDO) for efficient approach over highly protected zones. *2017 24th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2017 - Proceedings, May, 29–31*.

- <https://doi.org/10.23919/ICINS.2017.795612>
- Gallastegui, M. C., González-Eguino, M., & Galarraga, I. (2012). Cost-effectiveness of a combination of instruments for global warming: a quantitative approach for Spain. *SERIEs*, 3(1), 111–132. <https://doi.org/10.1007/s13209-011-0054-7>
- Ian Campbell. (2022). Aviation. www.carbonindependent.org
- ICAO. (2017). *ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology Version 10 June 2017*. June, 1–38.
- ICAO. (2019). Environmental Trends in Aviation to 2050. *2019 Environmental Report*, 17–23. <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/envrep2019.aspx>
- Johnson, M. E., & Gonzalez, A. (2013). Effects of a Carbon Emissions Trading System on Aviation Financial Decisions. *Journal of Aviation Technology and Engineering*, 2(2). <https://doi.org/10.7771/2159-6670.1073>
- Kito, M., Nagashima, F., Kagawa, S., & Nansai, K. (2020). Drivers of CO₂ emissions in international aviation: The case of Japan. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104036. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab9e9b>
- Li, L., Yuan, S., Teng, Y., & Shao, J. (2021). A study on sustainable consumption of fuel—An estimation method of aircraft. *Energies*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/en14227559>
- Lin, W. (2020). Air transport carbon reduction optimization based on low carbon emissions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 450(1), 1–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/450/1/012065>
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2017). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.73/Menlhk/Setjen/Kum.1/12/2017 Tentang Pedoman Penyelenggaraan Dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional* (hal. 1–250).
- Raco, J. (2018). *Metode penelitian kualitatif: jenis, karakteristik dan keunggulannya*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/mfzuj>
- Tang, B. J., & Hu, Y. J. (2019). How to allocate the allowance for the aviation industry in China's Emissions trading system. *Sustainability (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/su11092541>
- Terrenoire, E., Hauglustaine, D. A., Gasser, T., & Penanhoat, O. (2019). The contribution of carbon dioxide emissions from the aviation sector to future climate change. *Environmental Research Letters*, 14(8). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3086>
- Thanikasalam, K., Rahmat, M., Mohammad Fahmi, A. G., Zulkifli, A. M., Noor Shawal, N., Ilanchelvi, K., Ananth, M., & Elayarasan, R. (2018). Emissions of piston-engine aircraft using aviation gasoline (avgas) and motor gasoline (mogas) as fuel - A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 370(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/370/1/012012>
- Yue, X., & Byrne, J. (2021). Linking the determinants of air passenger flows and aviation-related carbon emissions: A European study. *Sustainability (Switzerland)*, 13(14), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su13147574>
- Zhang, X., Chen, X., & Wang, J. (2019). A number-based inventory of size-resolved black carbon particle emissions by global civil aviation. *Nature Communications*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08491-9>
- Zheng, J., Qiao, H., & Wang, S. (2017). The effect of a carbon tax in the aviation industry on the multilateral simulation game. *Sustainability (Switzerland)*, 9(7), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su9071247>