



Analisis Beban Emisi CO₂ Di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi Manado Dengan Metode Intergovernmental Panel on Climate Change

Inri D. Pinatik^{#a}, Hendra Riogilang^{#b}, Isri R. Mangangka^{#c}

[#]Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^apinatikinri@gmail.com, ^briogilanghendra@gmail.com, ^cisri.mangangka@unsrat.ac.id

Abstrak

Dampak emisi karbon dioksida (CO₂) dari bandara berpengaruh terhadap meningkatnya gas rumah kaca (GRK). Namun, emisi CO₂ dari operasi bandara jarang diperkirakan dan didiskusikan. Penggunaan bahan bakar fosil di bandara Internasional Sam Ratulangi Manado merupakan hasil dari kegiatan penerbangan domestik, penerbangan internasional, Main Power Station (MPS), dan Ground Handling. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis beban emisi gas CO₂ di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi Manado tahun 2019 dan tahun 2020. Penelitian ini menggunakan pedoman Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) tahun 2019 dengan metode Tier 1 (metode dasar) dan Tier 2 (metode menengah) sesuai persyaratan dan ketersediaan data. Metode Tier 1 untuk menghitung emisi penerbangan pesawat komersial, fasilitas MPS, dan Ground Handling; sedangkan Tier 2 untuk menghitung emisi berdasarkan tipe pesawat. Hasil dari perhitungan Tier 1 menunjukkan emisi CO₂ terbesar dari kegiatan penerbangan pesawat komersial, tahun 2019 (107.78 ton) lebih tinggi dibandingkan tahun 2020 (53.43 ton) sesuai dengan kepadatan penerbangan. Dengan Tier 2 didapatkan pesawat penerbangan komersial yang mengemisikan CO₂ paling tinggi adalah tipe pesawat Boeing 737 900 (30%) dan ATR-72 (23 %). Hasil dari pengukuran CO₂ di lokasi masih terbilang baik. Upaya untuk mengurangi emisi CO₂ di bandara, yaitu memperbaiki Ruang Terbuka Hijau dengan merancang Green Belt oleh tanaman trembesi untuk mereduksi hasil emisi CO₂ yang di hasilkan.

Kata kunci: bandar udara, emisi CO₂, IPCC 2019, Tier 1, Tier 2, jalur hijau

1. Pendahuluan

Salah satu permasalahan lingkungan yang dihadapi dunia saat ini adalah adanya fenomena pemanasan global yang antara lain disebabkan oleh emisi gas rumah kaca. Aktivitas manusia yang banyak menyebabkan emisi gas rumah kaca, antara lain adalah konsumsi energi yang berasal dari bahan bakar fosil termasuk bahan bakar untuk sektor transportasi khususnya transportasi udara (Wiroatmojo, 2014). Tidak hanya emisi dari pesawat yang mempengaruhi kualitas udara di area bandara namun juga dipicu oleh emisi lainnya seperti kendaraan yang masuk dan keluar dari pintu masuk bandara, penggunaan daya listrik, penggunaan mesin, dan hal-hal mendukung lainnya dalam pengoperasian maupun aktivitas bandara itu sendiri (Ashford, et.al, 2011). CO₂ merupakan salah satu polutan gas rumah kaca. Permasalahan ini dipandang memiliki karakter global maka harus diatur dalam tataran internasional, bahwa secara global industri penerbangan menyumbang 3,5% emisi CO₂ (Harista, 2019). Peningkatan emisi CO₂ itu akan menyebabkan peningkatan suhu udara dan pemanasan global secara luas yang dalam jangka waktu tertentu dapat mengakibatkan perubahan iklim.

Menindaklanjuti komitmen penurunan emisi GRK tersebut, pemerintah mengeluarkan Peraturan Presiden (Perpres) No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) yang mengamanatkan kepada provinsi untuk bertanggung jawab dalam penyusunan Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAD-GRK) selambat-lambatnya 12 bulan sejak ditetapkannya peraturan presiden. Komitmen tersebut

kemudian diperkuat kembali oleh Presiden Joko Widodo, di Indonesia meningkatkan target penurunan gas rumah kaca di tahun 2030 menjadi 29% dengan usaha sendiri atau 41% dengan bantuan internasional (KESDM, 2016). Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi merupakan satu-satunya penyedia fasilitas dan jasa layanan penerbangan yang berlokasi di kecamatan Mapanget, kota Manado, provinsi Sulawesi Utara, Indonesia. Permintaan jasa layanan penerbangan relatif tinggi, tidak hanya melayani rute penerbangan domestik, bandara ini juga melayani penerbangan Internasional. Selain mengurangi emisi karbon dioksida (CO₂) dari sektor penerbangan yang berkontribusi 3% terhadap perubahan iklim seperti arahan Kementerian Perhubungan, konsep tersebut juga mempromosikan keberlanjutan, sekaligus mengurangi dampak lingkungan dalam pengelolaan bandara, sesuai panduan Airport Council International (ACI) Asia Pacific. Untuk memenuhi target pada ambang batas suhu paling aman yang ditetapkan di Paris Agreement sebesar 1,5°C di atas level suhu masa pra-industri, dibutuhkan pengurangan emisi sebesar 7,6% per tahun dalam periode 2020-2030.

Mengingat padatnya jadwal penerbangan serta kegiatan bandar udara menjadi pilihan untuk melakukan analisis beban emisi CO₂ dari sektor penerbangan. Pada kenyataannya sedikit sekali penelitian yang telah dilakukan untuk memahami karakteristik beban pencemar dari pesawat maupun dari aktivitas yang berada di bandara, begitu pula dengan kualitas udara di sekitar bandara. Minimnya penelitian awal seperti ini melatar belakangi penulis untuk melakukan penelitian terkait beban pencemar khususnya beban emisi CO₂ di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi. Pemilihan parameter CO₂ dikarenakan CO₂ merupakan salah satu gas rumah kaca (GRK) yang di kutip dari beberapa jurnal, memberi andil yang paling besar terhadap peningkatan rata-rata suhu udara di dunia.

1.1. Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah perbedaan tingkat pencemaran spesifik gas CO₂ tahun 2019 dan tahun 2020 di Bandara Internasional Sam Ratulangi ?
2. Bagaimanakah kualitas udara CO₂ yang ada di kawasan bandar udara Internasional Sam Ratulangi dibandingkan dengan standar baku mutu yang berlaku ?
3. Perlunya perencanaan Green Belt untuk mereduksi CO₂ yang di hasilkan dari kegiatan penerbangan di bandar udara Sam Ratulangi.

1.2. Tujuan penelitian

1. Mengidentifikasi tingkat pencemaran emisi CO₂ spesifik tahun 2019 dan tahun 2020 di bandar udara Sam Ratulangi Manado.
2. Menganalisis hasil pengukuran dan analisa CO₂ terhadap standar baku mutu.
3. Merekomendasikan penerapan "Green Belt" untuk mereduksi kadar CO₂ yang di hasilkan di lokasi penelitian.

1.3. Manfaat Penelitian

1. Manfaat teoritis :

Pengukuran dan perhitungan beban emisi CO₂ merupakan analisis untuk mencegah CO₂ yang di hasilkan dari aktivitas bandara, terdispersi ke udara sehingga jika dalam kadar yang tinggi, dapat terbentuknya emisi Gas Rumah Kaca yang dapat memicu terjadinya Pemanasan Global/Perubahan Iklim yang memiliki dampak negatif yang besar bagi lingkungan.

2. Manfaat praktis :

- a. Bagi Ilmu Pengetahuan

Membuka pola pikir dan pengalaman terkait pendalaman materi mengenai Kualitas Udara yang di pelajari sebagai mahasiswa Teknik Lingkungan dan bisa menggali lebih dalam terkait emisi yang dihasilkan dari Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi dan perencanaan berwawasan lingkungan dengan meningkatkan kualitas udara yang di hirup masyarakat sekitar kawasan bandara agar tidak mempengaruhi kesehatan dan dampak buruk lainnya.

- b. Bagi Mahasiswa

Menambah wawasan mengenai kualitas udara terutama bagi pembaca yang membutuhkan referensi atau mengembangkan penelitian ini.

c. Bagi Instansi

Perencanaan "Green Belt" untuk mereduksi CO₂ agar supaya menunjang PT. Angkasa Pura I (Persero) untuk bisa menyelenggarakan kegiatan penerbangan sebagaimana mestinya, dengan dapat mengontrol emisi yang di hasilkan.

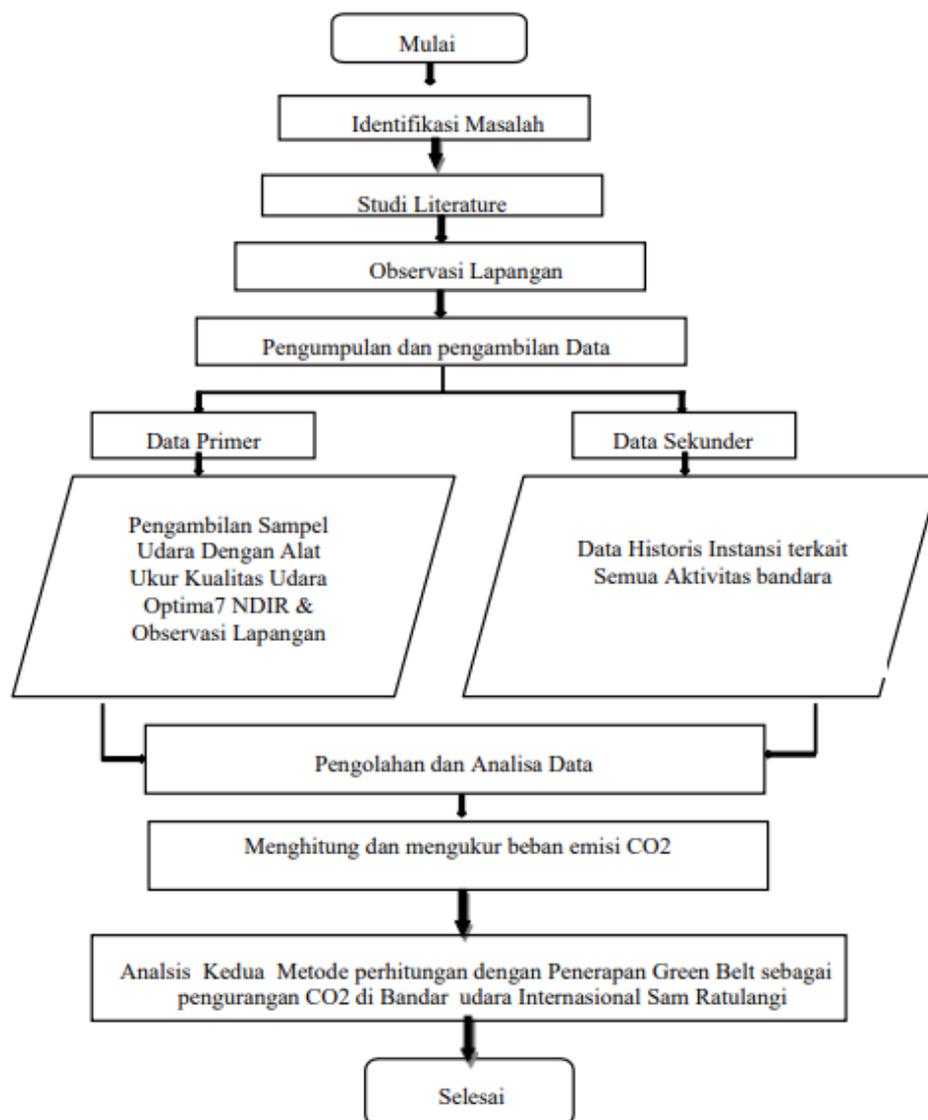
1.4. Lingkup Penelitian

1. Beban Emisi CO₂ yang diukur dan dianalisa dalam penelitian ini adalah di lokasi Apron penerbangan komersial Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi, tidak di lakukan di Pangkalan Udara Militer.
2. Skenario pengurangan emisi CO₂ melalui penerapan 'Green Belt' di lakukan dengan penanaman tumbuhan trembesi dan glodokan tiang

2. Metode

2.1 Alur Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan dengan menurut alur yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 Metode Pengumpulan Data

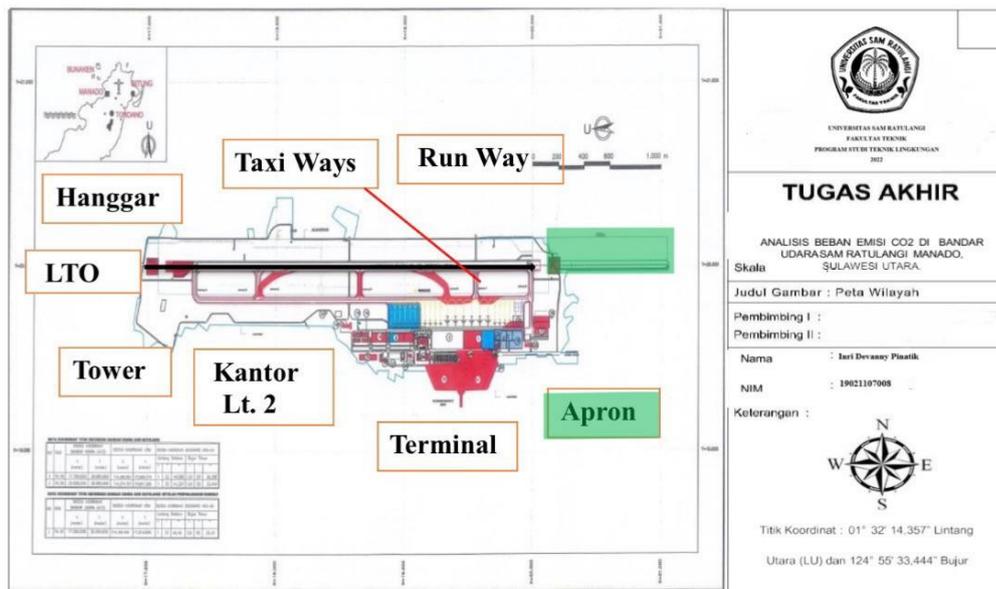
Pendukung dalam penelitian ini adalah pengambilan sampel primer dan ketersediaan data sekunder yang didapatkan dari pihak – pihak terkait pengelola kegiatan di Bandar Udara Samratulangi. Data sekunder yang dibutuhkan adalah data historis kegiatan selama tahun 2019-2020 dari aktivitas penerbangan pesawat komersial, fasilitas Main Power Staion (MPS), kegiatan Ground Handling pesawat. Berikut ini parameter data input yang diperlukan dalam penelitian.

2.2.1 Kebutuhan Data Primer Penelitian

Pengambilan data primer merupakan pengujian emisi Karbon Dioksida (CO_2) yang dilakukan pada Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi Manado bertujuan untuk dapat melihat seberapa banyak kadar emisi yang dihasilkan emisi gas buangan dari pengoperasian penerbangan yang berada di kawasan ini.

1. Waktu dan Tempat Pengukuran

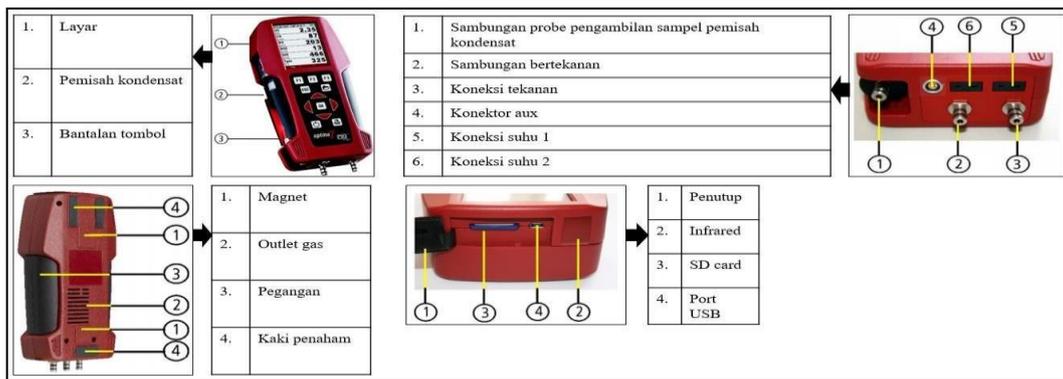
Pemilihan lokasi dalam pengukuran CO_2 ini hanya diwakili oleh 1 titik pengukuran dilakukan dengan 30x sesi pengujian dalam 2 minggu (10 hari kerja). Dalam melakukan pengukuran CO_2 dilakukan selama jam kerja Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi yaitu pada waktu pagi, siang dan sore dengan interval waktu 09.00-10.00, 12.00-13.00 dan 15.00-16.00 WITA.



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Sampel CO_2
(Sumber : PT Angkasa Pura I (Persero))

2. Alat dan Bahan

Untuk alat dan bahan dalam pengambilan sampel ini, hanya alat ukur Optima 7 NDIR Analyser. Pengukuran CO_2 menggunakan Optima7 NDIR Analyser. Alat ini biasanya digunakan dalam menganalisa CO_2 dan beberapa komponen lainnya di udara. Alat ini mampu bekerja secara kualitatif dan kuantitatif, karena dapat menunjukkan besaran konsentrasi CO_2 di udara. Prinsip menggunakan alat ini adalah dengan pengambilan sampel gas dari probe yang akan masuk ke dalam alat. Kemudian, gas sampel tersebut akan dibandingkan dengan standar gas yang berlaku melalui pemancaran sistem. Hasil dari pembacaan kadar CO_2 yang muncul di layar Optima7 NDIR Analyser dalam bentuk konsentrasi part per million (ppm). Satuan ppm ini dapat menunjukkan banyaknya partikel karbon untuk setiap satu juta partikel yang ada di udara sekitar Optima7 NDIR Analyser.



Gambar 3. Alat Ukur Optima 7 NDIR
(Sumber : Panduan bawaan alat)

3. Faktor & Skala Pengukur

Pengukuran yang dilakukan dalam pengambilan sampel CO₂ merupakan pengukuran yang melibatkan alat ukur Optima 7 NDIR Analyser yang menampilkan hasil dari kadar CO₂ ambien dalam konsentrasi ppm (parts per million, “bagian per sejuta” yang merupakan sastuan yang dipakai dari pecahan yang sangat kecil. Pengukuran ini tentunya mengukur CO₂ di udara ambien yang berbeda konsentrasinya dengan pembakaran langsung mesin pesawat, karena sudah bercampur dengan tekanan, angin dan lain sebagainya. Menurut *World Health Organization (WHO)* kategori CO₂ udara bersih berkisar 310-330 ppm, udara tercemar 350-700 ppm. Dan ambang batas kadar CO₂ di udara adalah 700 ppm. Sehingga akan dikategorikan sangat berbahaya apabila kadarnya sudah melebihi ambang batas.

2.2.2 *Kebutuhan Data Sekunder Penelitian*

Tabel 1. Kebutuhan Data Sekunder Penelitian

Sumber Kegiatan	Jenis Data	Sumber Data
Pesawat Komersial	Data tipe dan jumlah pergerakan pesawat komersial di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi	PT Angkasa Pura I (Persero)
	Data penjualan bahan bakar pesawat komersial di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi.	Pertamina Aviasi
Fasilitas MPS	Spesifikasi peralatan pada fasilitas Main Power Station (MPS) Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi	Unit MPS Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi
	Jenis dan jumlah pemakaian bahan bakar pada fasilitas Main Power Station (MPS) Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi.	
Ground Handling	Data spesifikasi peralatan Ground Support Equipment (GSE) pada aktivitas Ground Handling di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi.	Gapura Angkasa
	Jenis dan jumlah bahan bakar yang digunakan untuk peralatan GSE.	

Berisi tentang metode yang digunakan dalam penyelesaian penelitian didalam naskah artikel. Segala metode yang digunakan dalam penelitian dituliskan pada bagian ini. Metode harus membuat pembaca dapat membaca analisis. Metode yang telah dipublikasikan harus ditunjukkan dengan referensi, jika melakukan modifikasi metode yang relevan yang harus dijelaskan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 *Hasil Perhitungan Tahunan Emisi CO₂ Dengan Metode IPCC*

3.1.1 *Perhitungan Beban Emisi CO₂ Metode Tier 1*

Perhitungan beban emisi CO₂ dengan metode Tier 1 diterapkan pada aktivitas penerbangan pesawat komersial, fasilitas MPS, dan kegiatan Ground Handling pesawat. Data yang digunakan dalam perhitungan beban emisi CO₂ adalah data konsumsi bahan bakar dan faktor emisi per jenis bahan bakar yang digunakan. Adapun Persamaan perhitungan yang akan digunakan dalam menggunakan Metode Tier 1 adalah sebagai berikut:

Emisi = Konsumsi BB (TJ) × Faktor Emisi (kg/TJ) (Persamaan 1)

dimana,

Emisi = Beban emisi CO₂ (ton/tahun)

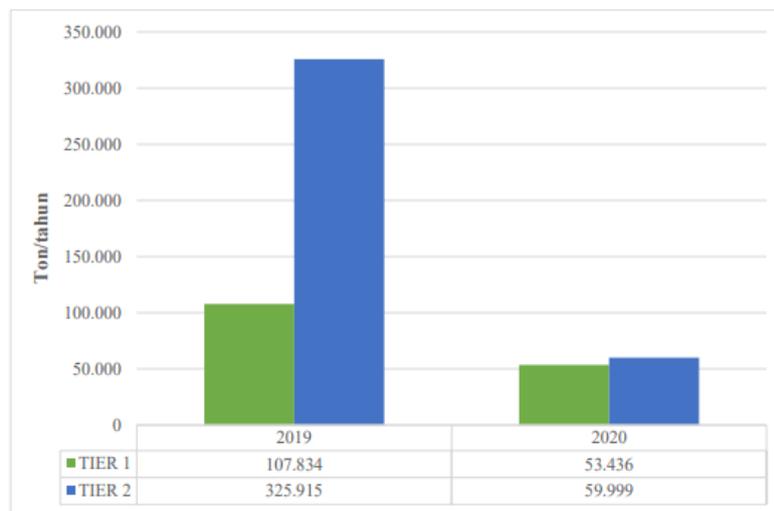
Konsumsi BB = Konsumsi bahan bakar (TJ)

Faktor Emisi = Faktor emisi CO₂ dalam satuan (kg Gas/TJ)

3.1.2 Perhitungan Beban Emisi CO₂ Metode Tier 2 Pesawat Komersial

Pada perhitungan beban emisi CO₂ untuk penerbangan pesawat komersial, Data yang dibutuhkan adalah data jumlah pesawat yang beraktivitas berdasarkan dari tipe pesawat. Selain itu, perhitungan juga harus membedakan antar penerbangan domestik dan internasional. Dalam kegiatan penerbangan, pada operasi pesawat terbagi dua fase yaitu fase landing-takeoff (LTO) dan fase cruise (terbang) sehingga pada tier 1 juga dilakukan perhitungan untuk tiap fase pada penerbangan. Adapun perhitungan beban emisi CO₂ dengan metode Tier 2 pada penerbangan pesawat komersial.

Emisi = Emisi LTO + Emisi Cruise (Persamaan 2)



Gambar 4. Perbandingan Beban Emisi Tier 1 & 2

Tabel 2. Analisis Perhitungan Beban Emisi CO₂ Tier 1 dan Tier 2 Tertinggi

Aktivitas Penerbangan	Emisi CO ₂ Tier 1 (ton)	Emisi CO ₂ Tier 2 (ton)	Selisih (ton)	% Perbedaan
Domestik	86.944	296.715	209.770	241%
Internasional	20.890	29.201	8.311	40%
TOTAL	107.834	325.915	218.081	281%

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2023)

Dapat dilihat bahwa pada Tabel 1 hasil perhitungan beban emisi CO₂ tahun 2019 untuk penerbangan domestik dan internasional memiliki selisih perbandingan perhitungan dimana metode Tier 1 lebih kecil dibandingkan metode Tier 2. Pada penerbangan domestik, hasil perhitungan dengan menggunakan metode Tier 2 memiliki 209.770 ton lebih tinggi dibandingkan metode Tier 1 atau berbeda 241%. Pada penerbangan internasional, hasil perhitungan dengan menggunakan metode Tier 2 memiliki 8.311 ton lebih tinggi dibandingkan metode Tier 1 atau berbeda 40%. Secara keseluruhan, hasil perhitungan menggunakan metode Tier 2 untuk seluruh penerbangan memiliki selisih perbandingan 218.081 ton lebih tinggi dibandingkan dengan metode Tier 1. Dengan kata lain, hasil perhitungan Tier 2 untuk penerbangan komersial memiliki tingkat ketelitian 281% lebih tinggi dibandingkan dengan hasil perhitungan pada metode Tier 1.

Perbedaan hasil perhitungan ini dapat disebabkan oleh penggunaan data yang lebih spesifik pada metode Tier 2, yaitu data yang digunakan berupa jenis per-tipe pesawat. Seperti yang telah diketahui jika setiap tipe pesawat memiliki faktor emisi CO₂ yang berbeda-beda. Hal ini tentunya akan berpengaruh pada beban emisi CO₂ yang dihasilkan per-tipe

pesawat. Selain itu, dari kedua metode perhitungan tersebut menunjukkan jika beban emisi CO₂ pada penerbangan domestik lebih tinggi dibandingkan dengan beban emisi CO₂ penerbangan internasional.

3.2 Hasil Perhitungan Tahunan Emisi CO₂ Data Primer Dengan Optima7 NDIR

Pengujian emisi Karbon Dioksida (CO₂) yang dilakukan pada Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi Manado bertujuan untuk dapat melihat seberapa banyak kadar emisi yang dihasilkan emisi gas buangan dari pengoperasian penerbangan yang berada di kawasan ini.

$$\begin{aligned} \text{Hasil Emisi Harian} &= \text{Rata-rata emisi per jam} \times 24 \text{ jam} \\ 333 \times 24 &= 7.992 \text{ ppm} \\ \text{Hasil Emisi Tahunan} &= \text{Hasil emisi harian} \times 365 \text{ hari} \\ 7.992 \times 365 &= 2.917.080 \text{ ppm/tahun} \end{aligned}$$

Tabel 3. Hasil Emisi CO₂ Tahunan Ada di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi

Hasil Emisi Pengambilan Sampel CO ₂ di Lokasi Penelitian	Standar CO ₂ Udara Bersih (ppm/tahun)	Standar CO ₂ Udara Tercemar (ppm/tahun)	Standar Baku Mutu (ppm/tahun)
2.917.080 ppm	< 2.890.800	> 3.066.000	> 6.132.000

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2023)

Dengan demikian, dapat kita simpulkan bahwa Emisi CO₂ yang di hasilkan dari aktivitas penerbangan di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi Manado, sudah tidak di kategorikan ke udara bersih karena telah melewati batas standar yang di tetapkan. Tetapi belum di kategorikan pada kadar udara tercemar, karena akan di katakan tercemar apabila hasil pertahun diatas 3.066.000 ppm dan masih jauh dari standar baku mutu/ambang batas, karena akan di kategorikan melewati ambang batas apabila hasil pertahun melebihi 6.132.000 ppm

3.3 Hasil Perhitungan Tahunan Reduksi Emisi CO₂ Dengan Tanaman Trembesi

Rencana Green Belt 1, meliputi:

$$\begin{aligned} \text{Panjang Lahan Ruas Kanan} &: 1325 \text{ m} \\ \text{Panjang Lahan Ruas Kiri} &: 1325 \text{ m} \\ \text{Lebar Lahan Masing-masing Ruas} &: 75 \text{ m} \\ \text{Jarak Antar Pohon} &: 15 \text{ m} \\ \text{Total pohon setiap baris} &= \text{Panjang lahan} / \text{jarak antar pohon} \\ 1325/15 &= 88 \text{ pohon} \\ \text{Total deret atau jumlah baris} &= \text{Lebar lahan} / \text{jarak antar pohon} \\ 75/15 &= 5 \text{ baris} \\ 440 \times 2 \times 28,5 &= 25.080 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Tabel 4. Perencanaan Penyerapan Green Belt Pertahun

Perencanaan	Jumlah Trembesi	Total Penyerapan Pohon	Total CO ₂ yang Bisa di Serap/tahun
Green Belt 1	880	28,5 ton/tahun	25.080 ton/tahun
Green Belt 2	710	28,5 ton/tahun	20.235 ton/tahun

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2023)

Dengan penggunaan Green Belt 1 di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi melalui penanaman 880 pohon, akan memberi sumbangsi reduksi CO₂ sebesar 25.080 ton/tahun. Sedangkan perencanaan Green Belt 2 di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi melalui penanaman 710 pohon, akan memberi sumbangsi reduksi CO₂ sebesar 20.235 ton/tahun.

Perencanaan berwawasan lingkungan dari Penulis agar supaya dapat membuat udara pada sektor kawasan bandara, kualitasnya menjadi lebih baik, agar supaya hasil Emisi CO₂ yang di hasilkan pada setiap penerbangan, tidak akan bercampur dengan udara ambien, membuat CO₂ yang tidak bisa tereduksi menuju ke lapisan atmosfer bumi, yang jika berlebihan, akan menyebabkan Gas Rumah Kaca (GRK) yang berdampak terhadap terjadinya Pemanasan Global (Global Warming).



Gambar 5. Gambaran Perencanaan Green Belt

3.4 Pembahasan

Dari hasil yang di dapatkan, perhitungan data sekunder tidak bisa di bandingkan dengan perhitungan data primer. Karena dalam perhitungan data sekunder, emisi CO₂ yang dihitung merupakan total gas buang pesawat dari hasil pembakaran yang belum terdispersi ke udara. Sedangkan untuk perhitungan data primer, CO₂ yang di ukur merupakan kadar CO₂ yang sudah terdispersi dengan tekanan udara, arah dan kecepatan angin, temperatur, pergerakan udara dan lain sebagainya. Dari hasil pengukuran, kadar CO₂ di lokasi penelitian menunjukkan bahwa kadar udara di lokasi penelitian, sudah tidak bersih lagi, sehingga membutuhkan peningkatan kualitas udara yang ada di sana. Terkait peningkatan kualitas udara, perlu perencanaan Green Belt sebagai upaya mereduksi CO₂ yang dihasilkan di Bandar Udara Sam Ratulangi Manado.

Tabel 5. Hasil Penelitian

Jenis Data Yang Di Teliti	Jumlah Besaran Data	Alasan Perolehan Data
Hasil Perhitungan Dengan Metode IPCC Tertinggi Dalam 1 Tahun	325.915 ton	Hasil perhitungan yang di ambil adalah data tertinggi pada Tier 2 karena memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi.
Hasil Pengambilan Sampel CO ₂ Untuk 1 Tahun	2.917.080 ppm	Kadar udara yang di ambil merupakan hasil akumulasi jumlah produksi rata-rata kadar CO ₂ pada lokasi penelitian.
Hasil Yang Bisa di Reduksi Trembesi Untuk 1 Tahun	25.080 ton	Hasil perencanaan yang diambil adalah hasil maksimal penyerapan dari pembuatan Green Belt.

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

4. Kesimpulan

1. Analisis dengan perhitungan dengan metode IPCC, menunjukkan bahwa hasil emisi CO₂ yang di hasilkan lebih banyak di tahun 2019 dibanding tahun 2020, dikarenakan padatnya penerbangan di tahun 2019.
2. Kadar CO₂ udara ambien di bandara sudah tidak dalam kategori udara bersih, tapi belum dalam kategori udara tercemar dan masih jauh dari ambang batas, dan masih aman untuk di hirup. Tetapi harus di perhatikan supaya terhindar dari udara tercemar .
3. Rencana "Green Belt" di bandara dengan menanam pohon trembesi bertujuan untuk mengurangi emisi CO₂. Dengan harapan dapat mengurangi emisi CO₂, Dengan meningkatkan kualitas udara dilokasi penelitian, dan mengurangi emisi Gas Rumah Kaca yang menyebabkan Pemanasan Global dan memicu Perubahan Iklim.

Referensi

- Alihta, Karin Nursyafira. 2017. Analisis Beban Pencemar Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO₂) di Kawasan Bandar Udara Internasional Kualanamu. Skripsi. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, USU. Sumatera Utara.
- Ashford, N. J., Mumayiz, S. A., Wright, Paul, H. 2011. Aiport Engineering. John Wiley & Sons Inc :USA
- Bruhwiller, Lori and Anna M. Michalak. 2018. Overview of The Global Carbon Cycle. Chapter 1. Second State of the Carbon Cycle Report (SOCCR2). U.S. Global Change Research Program: United States.
- Civil Aviation Authority (CAA). 2017. Information on Aviation's Environmental Impact. West Sussex.
- Doni Wahyudi, 2020. Gas CO₂ di Wilayah Indonesia. Berita Dirgantara 18 (2): 68 – 75.
- Sumarawati. 2004. Pengaruh Kepadatan Lalu-Lintas pada Jam Puncak Terhadap Kandungan Gaskarbon Monoksida (Co) di Jalan Raya Kaligawe Semarang. Skripsi, Universilas Islam Sultan Agung (Unissula), Indonesia.
- Erou, Annisa dan Fajri Fadhillah. 2019. Inventarisasi Emisi Provinsi DKI Jakarta. Seri Lembar Informasi. Jakarta: Indonesia Center for Environmental Law.
- Fahrizal, Mochamad Sony. 2016. Analisis Pertumbuhan Penggunaan Pesawat Terhadap Beban Emisi Karbon Bandar Udara International Juanda. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Federal Aviation Administration (FAA). 2012. Aviation Maintenance Technician Handbook – Airframe Volume:2. FAA. Oklahoma.
- Federal Aviation Administration (FAA). 2015b. Aviation Emissions, Impatcs & Mitigation: A Primer. FAA Office of Environment and Energy.
- Fitria, Annisa. 2018. Analisis Beban Emisi di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta, Kota Tangerang, Banten. Universitas Trisakti, Jakarta.
- Gibran Muhammad. 2017. Stuid Dispersi Emisi Karbon Monoksida Oleh Pesawat Komersil Dari Sumber Garis (Live Source) di Bandar Udara Internasional Juanda. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Harista, Drajat. 2019. Analisis Beban Emisi di Bandar Udara Internasional Halim Perdanakusuma, Untuk Aktifitas Penerbangan Komersial Tahun 2014-2018. Universitas Trisakti, Jakarta.
- Hendriarto, A., Saksono, P., & Gunawan, G. 2016. Analisa Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar Solar Dengan Biodiesel B10 Terhadap Performansi Engine Cummins QSK 45 C. JTT (Jurnal Teknologi Terpadu), 4(1).
- International Civil Aviation Organization (ICAO). 2011. Airport Air Quality Manual. Secretary General. Kanada.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2019. Emission Factor Data Base. Institute for Global Environment Strategies. Japan.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2019. Refinement to the 2019 IPPC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environment Strategies. Japan.
- International Virtual Aviation Organization (IVAO). (2016, 16 April). Phase of Flight Definition. Diakses pada 23 Agustus 2019 dari IVAO: https://www.ivao.aero/training/documentation/books/Student_Phase_of_flight.pdf
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tqhun 1999. Pengendalian Pencemaran Udara. Jakarta
- Pertamina. 2016. Avgas: Spesifikasi & Material Handling. Jakarta: PT. Pertamina (Persero).
- Pertamina. 2016. Avtur: Spesifikasi & Material Handling. Jakarta: PT. Pertamina (Persero).
- PT. Angkasa Pura I (Persero), 2023. Bandar Udara Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016. Data Inventory Emisi GRK Sektor Energi. Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2012. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Buku II-Volume 1 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca.
- Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). 2013. Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi

- Emisi Pencemar Udara di Perkotaan. Deputi Bidang Pengendalian Pencemaran. Reksowadojo, Iman K., Long H. Duong, dan Duc Ng. Pham. 2014. Review of Typical Biofuel for Aviation Alternative Fuel Purpose. ASEAN Engineering Journal Part A 4 (1) ISSN 2229-127X p.20.
- Republik Indonesia, 2011. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca.
- Republik Indonesia, 2012. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 40 Tahun 2012 tentang Pembangunan dan Pelestarian Lingkungan Hidup Bandar Udara. Sekretaris Kabinet Republik Indonesia. Jakarta.
- Sehabudin, S. 2011. Penambatan Karbon Dioksida dan Pengaruh Densitas Alga Air Tawar (*Chlorella SP.*) Terhadap Pengurangan Emisi Karbon Dioksida.
- Wartha, Ardhia. 2013. Perhitungan Emisi Gas Buang Harian Mesin Pesawat Udara di Bandar Udara Husein Sastranegara-Bandung.
- Wiroatmojo, Suyono. 2014. Emisi Gas Rumah Kaca Pesawat Udara di Indonesia. Warta Ardhia Jurnal Perhubungan Udara 40 (1): 1-18.
- World Health Organization, 2005. Greenhouse Gas Bulletin. Globally Averaged Concentration of Carbon Dioxide (CO₂).
- World Health Organization, 2020. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Situation Report, April 1 2020 WHO Situation Report, 2019(72). 1-19.