



Emisi Gas Rumah Kaca Pesawat Udara di Indonesia

Aircraft Greenhouse Gas Emissions in Indonesia

Suyono Wiryoatmojo

PT. Dirgantara Indonesia, Jl.Padjajaran No. 154 Bandung 40174

email: suryono.wiryoatmojo@yahoo.com

INFO ARTIKEL

Histori Artikel:

Diterima: 6 Januari 2014

Direvisi: 10 Maret 2014

Disetujui: 17 Maret 2014

Keywords:

*emission, greenhous
gas, aircraft*

Kata kunci:

emisi, gas rumah kaca,
pesawat udara

ABSTRACT / ABSTRAK

One of the environmental problems facing the world today is the phenomenon of global warming that is caused by greenhouse gas emissions. Many human activities that cause greenhouse gas emissions that cause global warming, among others, is the consumption of energy derived from fossil fuels, including fuels for the transport sector, particularly air transport. This research conducted the calculation of greenhouse gas emissions produced by aircraft operation in Indonesia in 2012 and the predictions of greenhouse gases up to 2030. The calculation refers to the emission inventory Guidebook 2013, and following the procedure has been set by the International Civil Aviation Organization (ICAO). Based on the calculation results showed that aircraft greenhouse gas emissions in Indonesia in 2012 was dominated by CO₂ gas that is equal to 8145 kTon (99.7%) while the hydrocarbon gas emissions of 1.04 kTon. By 2030, greenhouse gas emissions aircraft in Indonesia is expected to reach 16814 kTon.

Salah satu permasalahan lingkungan yang dihadapi dunia saat ini adalah adanya fenomena pemanasan global yang antara lain disebabkan oleh emisi gas rumah kaca. Aktifitas manusia yang banyak menyebabkan emisi gas rumah kaca penyebab pemanasan global antara lain adalah konsumsi energi yang berasal dari bahan bakar fosil termasuk bahan bakar untuk sektor transportasi khususnya transportasi udara. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan emisi Gas Rumah Kaca yang dihasilkan pesawat udara di Indonesia pada tahun 2012 dan prediksi gas rumah kaca sampai dengan tahun 2030. Perhitungan dan prediksi emisi gas rumah kaca pesawat udara pada penelitian ini mengacu pada *emission inventory guidebook 2013* dan mengikuti prosedur yang telah ditetapkan oleh *International Civil Aviation Organization (ICAO)*. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa emisi GRK pesawat udara di Indonesia pada tahun 2012 didominasi oleh gas CO₂ yaitu sebesar 8.145 kTon (99,7%) sedangkan emisi gas hidrokarbon sebesar 1,04 kTon. Pada tahun 2030, emisi gas rumah kaca pesawat udara di Indonesia diprediksikan mencapai 16.814 kTon.

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan lingkungan yang dihadapi dunia saat ini adalah adanya fenomena perubahan iklim yang antara lain disebabkan terjadinya pemanasan global (*Global Warming*). Pemanasan global antara lain disebabkan oleh emisi gas buang terutama dari kegiatan manusia yang semakin meningkat. Aktifitas manusia yang banyak menyebabkan emisi gas rumah kaca penyebab pemanasan global antara lain adalah konsumsi energi yang berasal dari bahan bakar fosil termasuk bahan bakar untuk sektor transportasi khususnya transportasi udara.

Polusi yang dihasilkan dari pembuangan mesin pesawat udara (*exhaust gas pollution*) perlu diperhatikan dampak buruknya terhadap lingkungan, meskipun hanya menyumbang sekitar 3% dari total polusi udara dunia tapi dengan banyaknya pesawat udara komersial yang beroperasi dari hari kehari semakin meningkat, maka angka persentase polusi tersebut diprediksi akan meningkat. Gas buangan dari pesawat udara seperti karbon dioksida, oksida nitrogen, uap air dan lain-lain semakin lama semakin memperkuat kenyataan bahwa polusi udara dari pesawat udara patut diwaspadai.

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada tahun 1980-1990an menyebutkan bahwa oksida nitrogen yang dihasilkan dari hasil pembuangan mesin jet dapat merusak lapisan ozon lebih parah dari pada CFC (*Cloro-Fluoro-Carbon*), yaitu gas yang sering dituduh merusak lapisan ozon. Bahkan beberapa ahli atmosfer yang tergabung dalam badan lingkungan hidup WWF (*World Wide Fund*) tahun 1991 mengatakan bahwa yang patut dijadikan penyebab utama semakin melebarinya lubang ozon adalah polusi

NO_x dari sistem transportasi udara. Hal ini terjadi karena NO_x secara kimiawi dapat mengurai ozon dengan bantuan sinar ultra violet matahari dan emisi gas buangan pesawat udara ini banyak terdapat di ketinggian jelajah pesawat udara (10-12 km) sehingga semakin mudah mengurai ozon (O₃) menjadi oksigen (O₂) yang tidak bisa berbalik lagi menjadi ozon.

Pada tahun 1999, IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) mengeluarkan laporan dan diantara poin-poin yang terpenting adalah:

1. Pesawat udara menghasilkan 2% total produksi emisi karbon dioksida (CO₂) per tahun, atau sebanyak 13% dari emisi CO₂ yang dihasilkan dari seluruh kendaraan. Diproyeksikan naik menjadi 3% sampai tahun 2050. Laporan ini juga mencatat bahwa CO₂ tetap berada di lingkungan atmosfer selama setidaknya 100 tahun sehingga efeknya kumulatif.
2. Emisi dari Nitrogen Oksida (NO_x) dari pesawat udara subsonik diprediksi akan meningkat sebesar 6% sejak tahun 1992. Sehingga diproyeksikan naik menjadi 13% pada tahun 2050.
3. Jejak asap pesawat udara (*contrails*) dari *exhaust* menghasilkan uap air (H₂O dan Hidrokarbon) telah menutupi sekitar 0.1% permukaan bumi sejak 1992. Diperkirakan akan meningkat setidaknya 0.5% di tahun 2050. Jejak asap ini dapat bertahan di lingkungan atmosfer dan secara langsung mempengaruhi efek rumah kaca. Selain itu jejak asap memberikan kontribusi peningkatan terjadinya awan cirrus yang dapat menutupi sekitar 30% permukaan bumi.

Dengan melihat kondisi dan perkembangan emisi gas buang pesawat udara di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat dan dalam rangka mendukung program dan kebijakan Pemerintah dalam penurunan emisi gas rumah kaca, dilakukan penelitian Emisi Gas Rumah Kaca Pesawat Udara di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk:

1. memberikan gambaran pergerakan pesawat baik yang terjadwal maupun tidak terjadwal di seluruh wilayah Republik Indonesia dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2030;
2. memberikan gambaran jumlah emisi gas rumah kaca dari operasional pesawat dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2030;
3. memberikan arahan kebijakan penurunan emisi gas rumah kaca untuk mendukung target penurunan emisi yang telah dicanangkan oleh Pemerintah RI.

Melalui penelitian ini diharapkan dapat diketahui besaran emisi gas rumah kaca (GRK) dari sektor perhubungan udara dan prediksi pada masa mendatang, sehingga dapat dijadikan dasar pengambilan kebijakan untuk mendukung komitmen pemerintah Indonesia secara keseluruhan dalam menurunkan emisi GRK.

TINJAUAN PUSTAKA

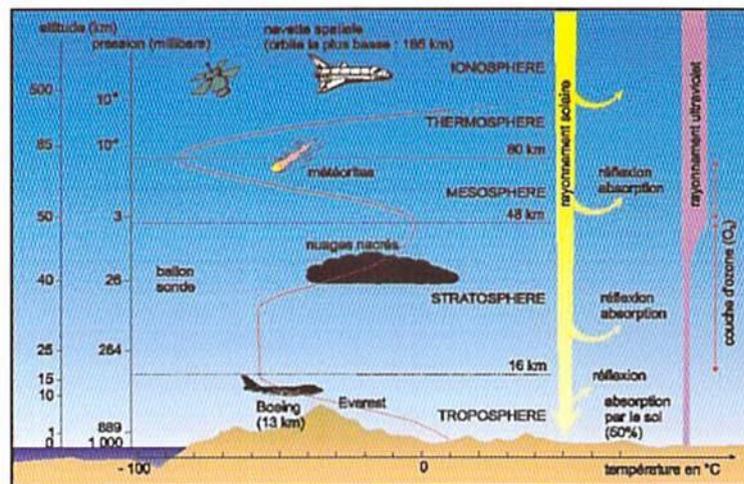
Gas Rumah Kaca

Gas Rumah Kaca (GRK) adalah gas yang terkandung di atmosfer baik alami maupun antropogenik yang menyerap dan memancarkan kembali radiasi inframerah. Berdasarkan Peraturan Pemerintah PP Nomor 71 tahun 2012, gas rumah kaca meliputi senyawa karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitro oksida (N₂O), hidrofluorokarbon (HFCs),

perfluorokarbon (PFCs), dan sulfur heksafluorida (SF₆). Sedangkan menurut Protokol Kyoto, gas rumah kaca termasuk tapi tidak terbatas pada uap air, karbon dioksida (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), chlorofluorocarbons (CFCs), hydrochlorofluorocarbons (HCFCs), ozone (O₃), hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs), and sulfur hexafluoride (SF₆).

Emisi gas rumah kaca Indonesia secara keseluruhan pada tahun 2000 sekitar 1,38 Gton CO₂e, dan meningkat menjadi 1,76 Gton CO₂e pada tahun 2005 dan diprediksi menjadi 2,95 Gton CO₂e pada tahun 2020 [Kementerian Lingkungan Hidup] jika tidak dilakukan usaha pengurangan emisi. Emisi gas rumah kaca berasal dari berbagai sektor seperti kebakaran lahan gambut (*peat*), limbah, kehutanan, pertanian, industri, dan energi. Berdasarkan *Indonesia Second National Communication Under The UNFCCC* [November 2010], GRK sebagai penyumbang terbesar adalah gas CO₂ 78%, metana (CH₄) sebesar 20%, dan N₂O sebesar 2%. Sektor penyumbang emisi GRK paling besar adalah Kehutanan dan Perubahan Penggunaan Lahan (LUCF) sebesar 47%, diikuti sektor energi (20%), emisi kebakaran lahan gambut (13%), limbah (11%), pertanian (5%), dan industri (3%). Emisi dari kegiatan transportasi termasuk dalam sektor energi.

Pemanasan global merupakan peningkatan rata-rata suhu atmosfer di permukaan bumi sampai lapisan troposphere yang bisa berkontribusi terhadap perubahan pola iklim global. Troposphere merupakan lapisan atmosfer terendah dengan ketinggian 9 - 16 km dari permukaan bumi seperti terlihat di Gambar 1.



Gambar 1. Lapisan Atmosphere

Gas rumah kaca yang diemisikan dari kegiatan transportasi akan terakumulasi di lapisan troposphere dan membentuk lapisan gas rumah kaca. Sinar infra merah dari matahari yang memasuki bumi sebagian akan dipantulkan kembali oleh permukaan bumi ke atmosphere. Adanya gas rumah kaca di lapisan troposphere akan memantulkan kembali sinar infra merah tersebut sehingga suhu bumi akan meningkat. Gambar skematis pemanasan global karena efek gas rumah kaca disajikan di Gambar 2.

Setiap gas rumah kaca mempunyai efek pemanasan global yang berbeda yang ditunjukkan dengan parameter *Global Warming Potential (GWP)*. GWP didefinisikan sebagai pengaruh radiasi kumulatif dari emisi satu unit massa gas rumah kaca relatif terhadap gas rujukan. Dalam hal ini gas rujukan yang digunakan adalah gas CO₂ yang ditetapkan mempunyai nilai GWP = 1. Nilai emisi gabungan gas rumah kaca biasanya dinyatakan sebagai Giga gram CO₂ equivalent. Nilai GWP masing masing gas rumah kaca dapat dilihat pada di Tabel 1.



Gambar 2. Efek Rumah Kaca

Tabel 1. Nilai *Global Warming Potential* Gas Rumah Kaca

No	Senyawa	Rumus Kimia	Nilai GWP
1	karbon dioksida	CO ₂	1
2	metana	CH ₄	25
3	dinitro oksida	N ₂ O	298
4	hidrofluorokarbon	HFCs	14.800
5	perfluorokarbon	PFCs	7.390
6	sulfur heksafluorida	SF ₆	22.800

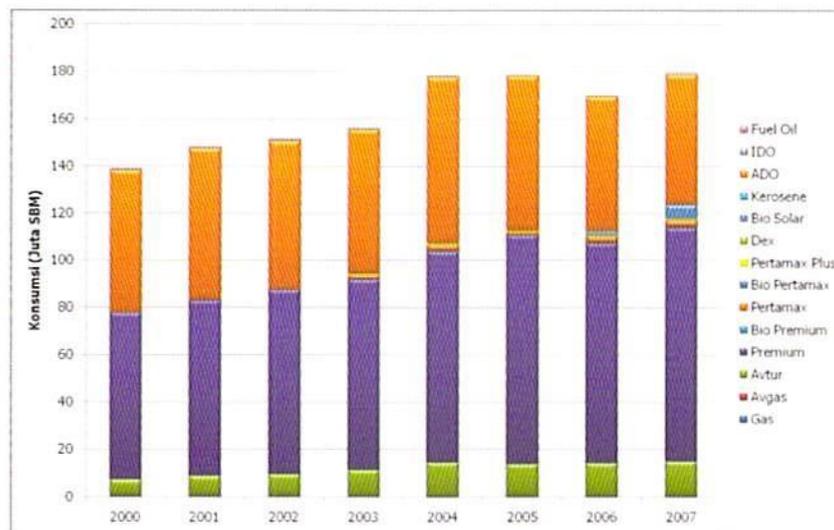
Sumber: IPCC, 2007

Emisi gas rumah kaca Indonesia secara keseluruhan pada tahun 2000 sekitar 1,38 Gton CO₂e, dan meningkat menjadi 1,76 Gton CO₂e pada tahun 2005 dan diprediksi menjadi 2,95 Gton CO₂e pada tahun 2020 jika tidak dilakukan usaha pengurangan emisi [Kementerian Lingkungan Hidup, 2012].

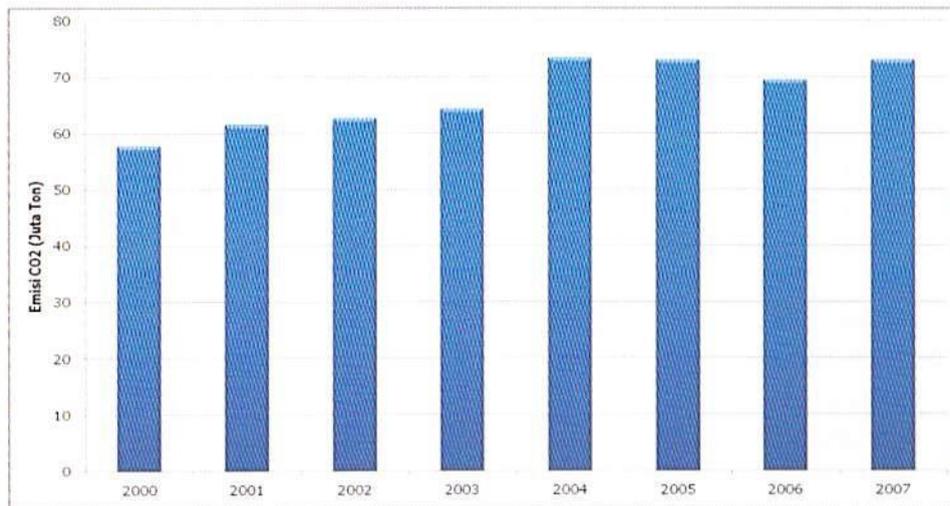
Pada tahun 2000 konsumsi energi untuk transportasi sebesar 140 juta sbm, dan pada tahun 2007 meningkat menjadi 179 juta sbm seperti yang terlihat pada Gambar 3. Meskipun demikian dibandingkan dengan tahun 2005, konsumsi energi sektor transportasi menurun sebesar 4 persen pada tahun 2006. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh kenaikan harga bahan

bakar minyak pada tahun tersebut. Secara nasional, emisi CO₂ yang dihasilkan dari sektor transportasi juga meningkat yaitu dari 58 juta ton pada tahun 2000 menjadi 73 juta ton pada tahun 2007 seperti yang terlihat pada Gambar 4.

Kontribusi emisi CO₂ terbesar berasal dari konsumsi premium dan turunannya (pertamax, pertamax plus dan super TT), dan solar. Penggunaan energi di sektor transportasi didominasi oleh transportasi darat (88%), sementara transportasi udara mengkonsumsi energi sebanyak 4% [Kajian Kebutuhan Teknologi Indonesia, BPPT dan KLH,2009].



Gambar 3. Konsumsi energi Sektor Transportasi
Sumber: Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Angka, 2009



Gambar 4. Emisi CO₂ Sektor Transportasi
Sumber: Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Angka, 2009

Dampak Gas Rumah Kaca dari Pesawat Udara

Gas buang dari pesawat udara seperti gas karbon dioksida, hidrokarbon, dan oksidanitrogen akan menimbulkan dampak penurunan kualitas udara dan pemanasan global. Gas karbondioksida dianggap bukan gas pencemar sehingga tidak diatur dalam baku mutu udara ambien sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 41 tahun 1999. Dampak pemanasan global terhadap lingkungan antara lain,

1. Peningkatan pencairan es di kutub utara dan selatan telah mengakibatkan peningkatan permukaan air laut. Hal ini akan mengakibatkan banjir air pasang laut di beberapa belahan dunia yang mempunyai daratan rendah dan ancaman tenggelamnya pulau-pulau kecil.
2. Perubahan iklim yang terjadi secara ekstrim menyebabkan perubahan curah hujan dimana terjadi hujan lebat yang mengakibatkan banjir dan tanah longsor, sementara di lain tempat dan waktu terjadi kemarau panjang yang mengakibatkan

kerusakan pertanian dan ancaman ketersediaan air bersih.

3. Peningkatan suhu bumi yang menyebabkan peningkatan gelombang udara panas di beberapa bagian dunia yang menyebabkan gangguan kehidupan biota dan bahkan menyebabkan kematian penduduk.

Pengendalian dampak pemanasan global pada prinsipnya dilakukan dengan melakukan program yang sistematis, komprehensif, dan berkelanjutan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan kebijakan penurunan emisi gas rumah kaca yang tercantum dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2011 Lampiran I. Target penurunan emisi sebesar 26% atau sekitar 0,038 GigaTon CO₂ eq. Dalam bidang energi dan transportasi, kebijakan yang dilaksanakan untuk menunjang RAN-GRK adalah

1. Peningkatan penghematan energi
2. Penggunaan bahan bakar yang lebih bersih (fuel switching).
3. Peningkatan penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT).

4. Pemanfaatan teknologi bersih baik untuk pembangkit listrik, dan sarana transportasi.
5. Pengembangan transportasi massal nasional yang rendah emisi, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

Pengendalian gas rumah kaca bisa dilakukan baik di sumber emisi maupun di lingkungan atmosfer. Pengendalian di sumber emisi bisa dilakukan dengan menerapkan efisiensi penggunaan bahan bakar, menghindari alih fungsi lahan gambut dan hutan, serta memperkecil potensi kebakaran hutan. Sedangkan pengendalian terhadap peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer bisa dilakukan dengan menggalakkan penghijauan.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif eksploratif dan kuantitatif dengan cara mengumpulkan data-data yang cukup dari hasil pengamatan lapangan, wawancara dan dokumen resmi yang kemudian dianalisis dengan menggunakan suatu metoda untuk memperoleh hasil yang diharapkan. Adapun tahapan pendekatan yang dilakukan dalam penyelesaian penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.

Jenis dan Sumber Data

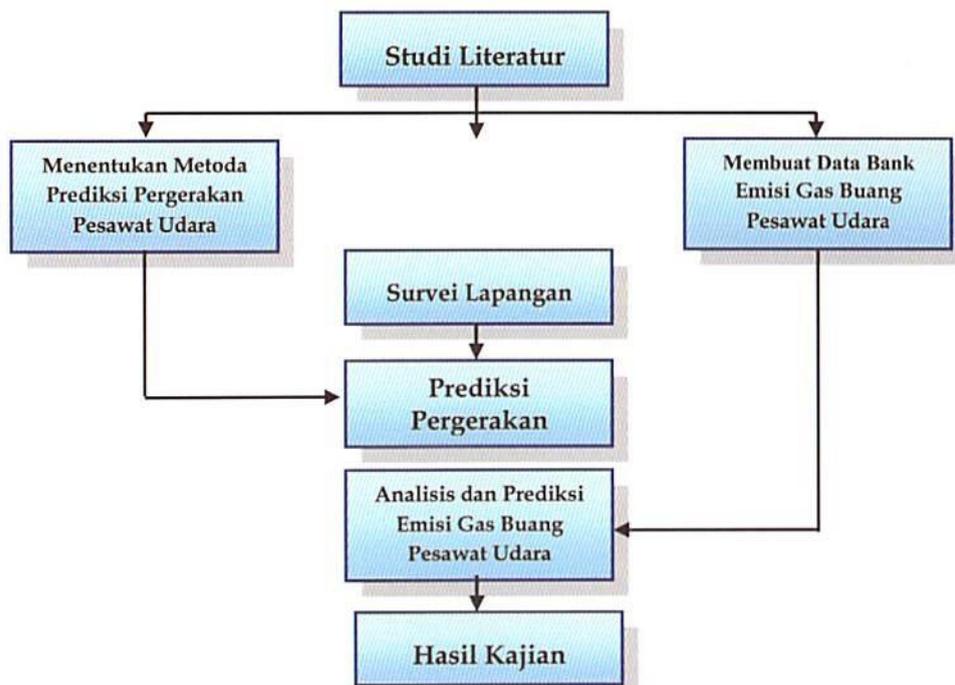
Data termasuk di dalamnya informasi yang akan digunakan dalam penelitian ini berupa data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif diantaranya adalah data pergerakan pesawat udara, spesifikasi pesawat udara dan faktor emisi gas

buang sedangkan data kualitatif diantaranya adalah undang-undang penerbangan, peraturan dan kebijakan mengenai angkutan udara dan lingkungan hidup.

Ditinjau dari sumber data terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer adalah data dari sumber pertama diperoleh dengan wawancara atau diskusi fokus dan pengamatan langsung di lapangan sedangkan data sekunder adalah data bukan dari sumber pertama diperoleh dari berbagai sumber yang telah ada, dalam hal ini data dari lingkungan Kementerian Perhubungan dan Kementerian Lingkungan Hidup serta media.

Pengumpulan data dilakukan dengan cara wawancara atau diskusi fokus, survei dokumen atau buku dan pengamatan di lapangan. Dalam pengumpulan data akan dikelompokan, antara lain:

1. Parameter operasi pesawat udara, yaitu:
 - a. Siklus penerbangan, seperti *engine run, taxi-out, take-off, climb, cruise, approach, landing, taxi-in, unloading* dan *loading*.
 - b. Rute penerbangan, tipe dan pergerakan pesawat udara atau frekuensi penerbangan.
 2. Spesifikasi pesawat udara, yaitu:
 - a. Tipe pesawat udara
 - b. Tipe *engine*
 - c. Jenis bahan bakar yang digunakan
- Untuk memenuhi kelengkapan pengumpulan data dibuatkan *check list* (daftar cocok) data dalam bentuk form isian sesuai data yang dibutuhkan.



Gambar 5. Diagram Kerangka Pendekatan Kajian

Prediksi Pergerakan Pesawat Udara

Untuk keperluan analisis prediksi pergerakan pesawat udara per bandara dan per rute, maka dilakukan beberapa tahapan analisis, yaitu:

1. Analisis Prediksi Pergerakan Pesawat Setiap Bandar Udara.

Data statistik pergerakan pesawat udara setiap bandar udara hasil tabulasi dilakukan peramalan dengan terlebih dahulu data pergerakan pesawat udara tersebut digambarkan (diplot), yaitu jumlah pergerakan (y) terhadap waktu (t), kemudian dari hasil gambar tersebut titik-titik sebarannya diperkirakan mengikuti suatu pola persamaan garis linier, eksponensial, kuadratis atau kurva Gompertz. Setelah mendapatkan sebaran titik-titik nilai pergerakan pesawat lalu dilakukan peramalan dengan menggunakan model peramalan yang sesuai dengan hasil persamaan garis dari sebaran tersebut.

2. Analisis Lalu Lintas Pesawat Udara.

Pada tahapan analisis ini dilakukan untuk mengetahui mengenai pergerakan pesawat dan tipenya dari dan ke suatu bandar udara, hal ini perlu diperoleh untuk selanjutnya digunakan untuk memprediksi jumlah pergerakan pesawat udara dari kota asal ke kota tujuan per tipe pesawat. Contoh data lalu lintas penerbangan dalam negeri dapat dilihat pada Tabel 1. Dari tabel lalu lintas penerbangan kemudian pesawat yang melayani rute-rute tersebut dijumlahkan frekuensinya dan dihitung berapa proporsinya masing-masing jenis pesawat. Nilai proporsi jenis pesawat ini kelak akan dijadikan faktor pengali dalam mendapatkan nilai prediksi pergerakan pesawat setiap jenis/tipe pada satu rute. Total frekuensi penerbangan Balikpapan ke Denpasar dari contoh table 1 adalah ada N penerbangan bolak balik, maka proporsi untuk pesawat A320:

$$X_{n1} \text{ dibagi } N = a\%$$

Tabel 1. Contoh Lalu Lintas Penerbangan Dalam Negeri

ASAL	TUJUAN	JENIS	PESAWAT		
			DTG	BRK	TOT
Balikpapan	Denpasar	A320	X1	X1	Xn1
Balikpapan	Denpasar	B732	X2	X2	Xn2
Balikpapan	Denpasar	B733	X3	X3	Xn3
Balikpapan	Denpasar	B738	X4	X4	Xn4
Balikpapan	Denpasar	B739	X5	X5	Xn5
Balikpapan	Denpasar	B734	X6	X6	Xn6
Total Frekuensi					N

3. Analisis Pergerakan Setiap Jenis Pesawat Udara dan per Rute. Setelah mendapatkan nilai proporsi setiap jenis pesawat dalam satu rute yang dijadikan faktor pengali, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai prediksi pergerakan pesawat per jenis

pesawat udara dalam satu rute. Maka nilai prediksi pergerakan pesawat A320 pada rute Balikpapan ke Surabaya bolak balik. Pergerakan Pesawat A320 = $a\% \times A$. Secara garis besar untuk memperoleh nilai prediksi pergerakan setiap jenis pesawat pada satu rute dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Prediksi Pergerakan Setiap Pesawat Setiap Rute

Perhitungan Emisi Gas Buang Pesawat Udara

Jumlah emisi gas buang Pesawat Udara dipengaruhi oleh pergerakan pesawat udara, tipe dan ukuran pesawat udara. Parameter pergerakan Pesawat Udara untuk prediksi emisi gas buang yang perlu diketahui adalah jumlah dan tujuan pergerakan pesawat udara serta tahapan operasinya. Dalam laporan ini

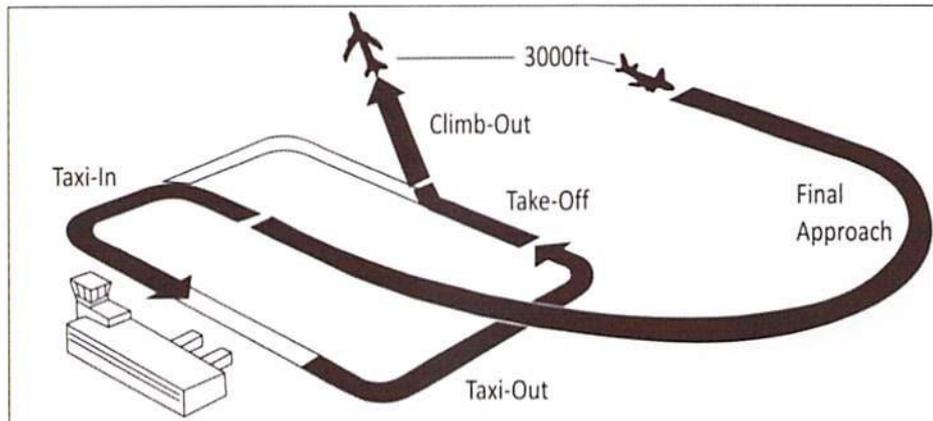
prediksi emisi gas buang pesawat udara dihitung dalam tahapan operasi sebagai berikut:

1. Aktivitas dekat dengan Bandar Udara yaitu Landing and Take-off (LTO) sampai ketinggian 3000 ft. sesuai dengan ketentuan ICAO 1993.
2. Jelajah yaitu aktivitas dari Bandar Udara asal menuju Bandar Udara tujuan diatas 3000 ft sampai dengan

saat descent sebelum ketinggian 3000 ft.

3. *Total Flight* yaitu kegiatan seluruh pergerakan Pesawat Udara dari tahap operasi Pesawat Udarabergerak sampai dengan berhenti; yaitu

aktifitas pergerakan Pesawat Udarasatu siklus dari mesin dihidupkan sampai dengan berhenti, dan mesin di matikan kembali. Atau sama dengan siklus LTO di tambah siklus jelajah.



Gambar 7. Tahapan Landing dan take off pesawat udara

Perhitungan emisi gas buang Pesawat Udara untuk siklus LTO mengacu pada *Airport Air Quality Manual ICAO doc 9889*, dimana inventarisasinya di mulai dari perhitungan setiap Pesawat Udara dan pasangan mesinnya. Dalam pelaksanaannya dilakukan dalam dua langkah, yaitu:

1. Penghitung emisi gas buang untuk setiap Pesawat Udara dan pasangan mesinnya dalam satu siklus LTO, yaitu penjumlahan dari emisi gas buang setiap tahapan operasi LTO.
2. Menjumlahkan emisi gas buang seluruh Pesawat Udara dan pasangan mesinnya dan jumlah LTO pada kurun waktu yang diinginkan.

$$E_g = \sum T \times FF_{k,g} \times Ei_{p,k,g} \times N \quad (1)$$

E_g = Total emisi dari pollutant (p) (NOx, CO, HC) yang di hasilkan oleh Pesawat Udara (g) dalam satu siklus LTO

$Ei_{p,k,g}$ = Indek (faktor) Emisi untuk pollutant (p), pada kondisi (k) (*Take-off, Climb out, Approach, Taxi in, and out*) untuk mesin yang di gunakan pada Pesawat Udara(g)

$FF_{k,g}$ = Laju aliran bahan bakar pada kondisi (k), untuk setiap mesin yang di gunakan pada pesawat (g)

T = *Time In Mode*, (k) waktu pesawat dalam kondisi (k) untuk Pesawat Udara (g)

N = Jumlah mesin pada Pesawat Udara (g)

Perhitungan emisi gas buang Pesawat Udara pada saat jelajah mengacu pada *EMEP/EEA Emission Inventory Guide Book*. Referensi tersebut menampilkan data set pemakaian bahan bakar dan emisi gas buang Pesawat Udara untuk berbagai jenis Pesawat Udara pada kondisi LTO, jelajah maupun total

penerbangan untuk rute standar. Untuk mempermudah perhitungan dalam laporan ini di buat persamaan regresi linier untuk mendapatkan harga regression slop dan interceptnya. Persamaan untuk prediksi emisi gas buang saat jelajah adalah sebagai berikut.

$$E_{Cruise_{g,p}} = m_{g,p} \times d + c_{g,p} \quad (2)$$

$E_{Cruise_{g,p}}$ = Emisi gas buang pada saat cruise untuk satu tipe Pesawat Udara (g), pollutant (p) dan dengan jarak (d)

m = Regression Slope, untuk tipe Pesawat Udara (g), dan pollutant (p)

c = Regression Intercept untuk tipe Pesawat Udara (g), dan Pollutant (p)

d = Jarak terbang

HASIL DAN PEMBAHASAN

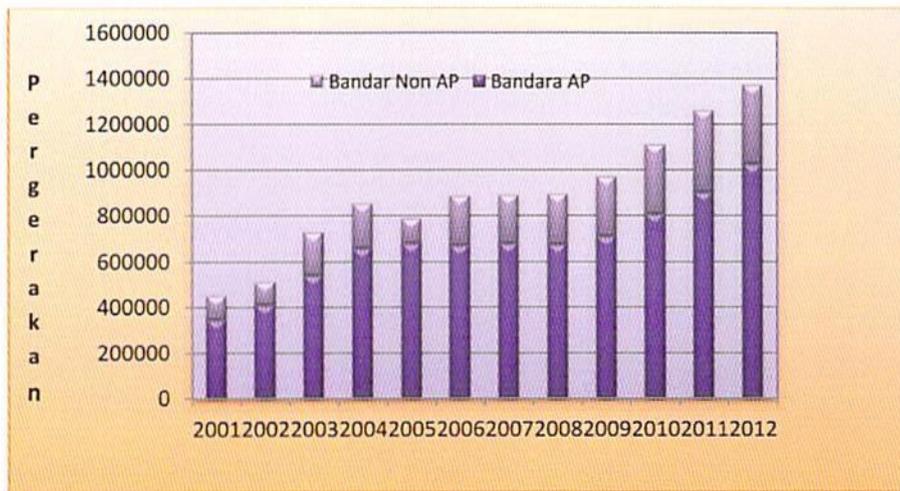
Prediksi Pergerakan Pesawat Udara

Data pergerakan pesawat udara penerbangan dalam negeri di seluruh bandar udara Indonesia baik yang dikelola PT Angkasa Pura maupun Unit Pelaksana Teknis (UPT) dapat ditampilkan pada Gambar 8. Rata-rata perbandingan pergerakan pesawat selama periode 2001 hingga tahun 2012 sebesar 76% untuk bandar udara Angkasa Pura dan 24% bandar udara UPT.

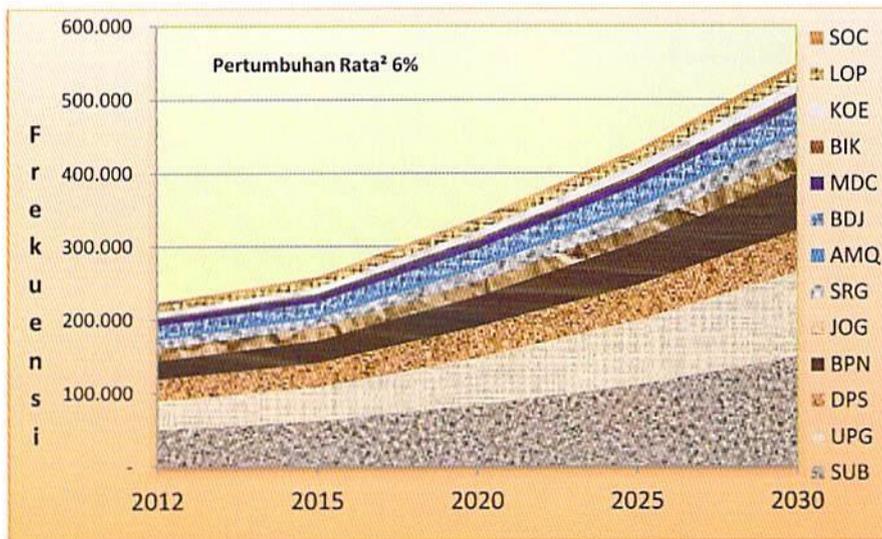
Hasil prediksi pergerakan pesawat udara untuk penerbangan berjadwal di bandar udara Angkasa Pura I ditampilkan pada Gambar 9 di bawah ini. Pergerakan pesawat udara terbesar di bandar udara Juanda Surabaya, disusul Bandar Udara Hasanuddi Makassar, kemudian Bandar Udara Ngurah Rai Denpasar, rata-rata pertumbuhan selama periode prediksi adalah sebesar 6%.

Prediksi pergerakan pesawat penerbangan berjadwal di Bandar Udara yang dikelola oleh Angkasa Pura II adalah dengan rata-rata pertumbuhan 4%, pergerakan pesawat udara tertinggi di Bandar Udara terdapat di Bandar Udara Soekarno Hatta Cengkareng kemudian disusul Bandar Udara Polonia (Kualanamu) Medan dan Halim Perdana Kusuma. Prediksi pergerakan pesawat udara di bandar udara yang dikelola oleh Angkasa Pura II ditampilkan pada Gambar 10.

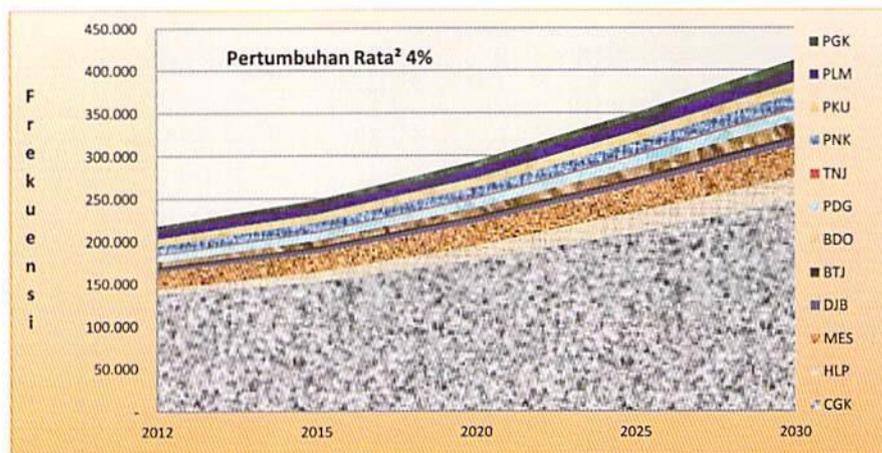
Prediksi pergerakan pesawat untuk penerbangan tidak berjadwal dengan pertumbuhan rata-rata 2%, Gambaran hasil prediksi ditampilkan pada Gambar 11. Prediksi pergerakan penerbangan perintis dengan rata-rata pertumbuhan 3%. Pergerakan pesawat udara di wilayah Papua diperkirakan masih yang terbesar.



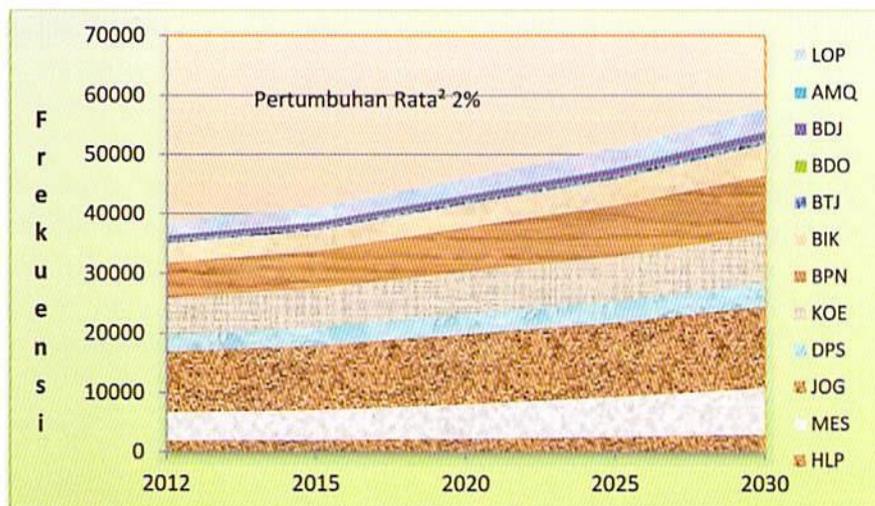
Gambar 8. Perkembangan jumlah pergerakan pesawat udara
Sumber: Hasil pengolahan data



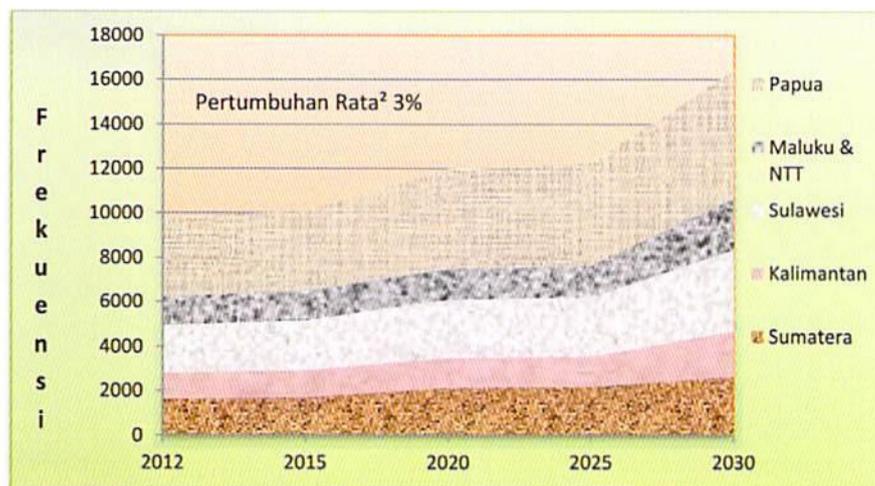
Gambar 9. Prediksi Pergerakan Pesawat Bandar Udara AP I
Sumber: Hasil pengolahan data



Gambar 10. Prediksi Pergerakan Pesawat Bandar Udara AP II
Sumber: Hasil pengolahan data



Gambar 11. Prediksi Pergerakan Pesawat Penerbangan Tidak Berjadwal
 Sumber: Hasil pengolahan data



Gambar 12. Prediksi Pergerakan Pesawat Penerbangan Perintis
 Sumber: Hasil pengolahan data

Perhitungan Emisi Gas Buang Pesawat Udara

Prediksi dan inventory emisi gas buang pesawat udara dalam laporan ini mengacu pada EMEP/EEA *emission inventory guidebook 2013*, dan mengikuti prosedur yang telah ditetapkan oleh ICAO pada tahun 1993 yang terdiri atas *landing and take off (LTO) Cycle* dan *Cruise* (Jelajah).

Gas buang pesawat udara berasal selain dari hasil pembakaran mesin utama juga dari mesin pembantu atau Auxiliary Power Unit (APU), yang dioperasikan pada saat di darat untuk

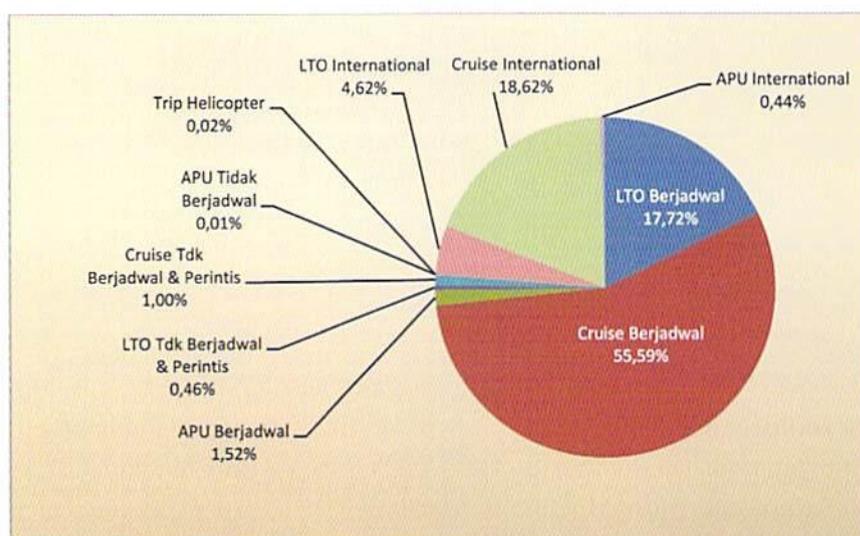
memenuhi kebutuhan tenaga pada saat operasi di darat. Dalam penelitian ini prediksi emisi gas buang menggunakan hasil prediksi pergerakan pesawat udara penerbangan dalam negeri dan international. Sebagaimana disebutkan diatas untuk dalam negeri meliputi pergerakan pesawat udara penerbangan berjadwal, tidak berjadwal dan perintis. Kegiatan pendukung di bandar udara seperti *loading* dan *unloading* bagasi dan penumpang, *refueling*, dll. tidak termasuk dalam penelitian ini.

Dari hasil *inventory* emisi gas buang pesawat udara di Indonesia yang di

lakukan, bila di representasikan dalam jumlah pembakaran bahan bakar pada tahun 2012 adalah sebesar $2,503.89 \times 10^6$ Kg seperti terlihat dalam pie diagram Gambar 13, yang apabila kita kelompokkan dalam satu siklus total, yaitu terdiri atas siklus LTO, Cruise dan APU maka penerbangan Berjadwal

74.83%, tidak berjadwal dan perintis 1.47% dan international 23.68%.

Hasil lengkap inventori emisi gas buang pesawat udara di Indonesia dan prediksinya sampai dengan tahun 2030 dapat disarikan seperti pada Tabel 2, dimana dapat dilihat bahwa ada peningkatan emisi gas buang pesawat udara sekitar 22% untuk setiap 5 tahun.



Gambar 13. Annual Fuel Burn Pesawat Udara Indonesia 2012

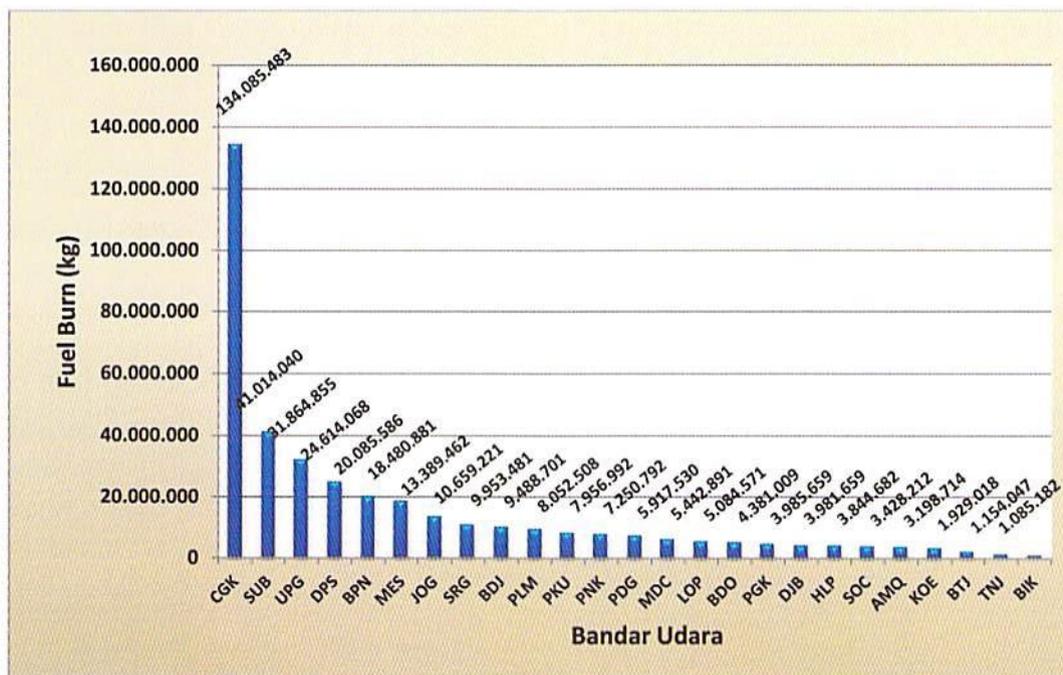
Tabel 2. Prediksi Fuel Burn dan Exhaust Emission Indonesia

Year	Description	Annual Fuel Burn & Exhaust Emission						
		FF (kg)	Nox (kg)	CO2 (kg)	SOX (kg)	H2O (kg)	CO (kg)	HC (kg)
2012	Annual Flight Total	2.503.887.186	368.796.118	7.922.380.310	1.919.312	3.018.172.822	153.919.791	15.430.298
2015	Annual Flight Total	3.018.809.167	460.475.245	9.461.041.947	2.315.414	3.640.202.075	193.290.636	19.249.972
2020	Annual Flight Total	3.650.827.553	561.530.050	11.415.584.143	2.756.360	4.401.737.336	232.253.117	23.390.557
2025	Annual Flight Total	4.455.567.096	686.158.489	13.904.351.759	3.363.794	5.371.873.366	283.857.813	28.541.195
2030	Annual Flight Total	5.478.810.168	829.481.647	16.989.103.404	4.137.228	6.668.370.561	342.726.277	34.497.856

Sumber: Hasil pengolahan data

Distribusi emisi gas buang Pesawat udara di Indonesia sebagai gambaran di representasikan dalam jumlah pembakaran bahan bakar pada siklus LTO penerbangan domestik di setiap bandar udara keberangkatan Angkasa

Pura I dan Angkasa Pura II, dapat di lihat pada gambar 14, dimana Bandar udara Cengkareng (CKG), menempati urutan pertama dan mengambil porsi 30%, kemudian disusul oleh Surabaya, Ujungpandang, Denpasar dan seterusnya.



Gambar 14 . Annual Fuel Burn LTO Domestik per setiap keberangkatan di bandar udara AP I, AP II, tahun 2012

Sumber: Hasil pengolahan data

Perkiraan bahan bakar dan emisi GRK dalam kurun waktu tahun 2030 disajikan dalam Tabel 3. Perkiraan ini didasarkan pada kondisi efisiensi mesin penerbangan saat ini. Jumlah penumpang pada masa mendatang diperkirakan akan meningkat sebesar 6,5%/tahun. Peningkatan bahan bakar dan emisi GRK (CO₂eq BAU) pada masa mendatang dengan asumsi tingkat efisiensi seperti saat ini (business as Usual/BAU) disajikan dalam Tabel 3.

Pada masa mendatang, dipastikan teknologi dan efisiensi pembakaran mesin pesawat akan semakin tinggi,

sehingga peningkatan emisi GRK dipastikan tidak sebesar yang diprediksikan saat ini. Konsumsi bahan bakar saat LTO pesawat jenis Boeing selama kurun waktu 1983–2005 mengalami peningkatan efisiensi berupa penurunan konsumsi LTO sebesar rata-rata 0,57% /tahun. Dengan mengasumsikan peningkatan efisiensi saat LTO pada masa mendatang sama dengan peningkatan efisiensi LTO pada rata-rata kurun waktu 1983-2005 sebesar 0,57%/tahun maka didapat prakiraan emisi GRK (CO₂eq Eff).

Tabel 4. Prakiraan GRK sampai dengan Tahun 2030

Parameter	Satuan	2012	2015	2020	2025	2030
Penumpang (6,5%/tahun)	Juta penumpang,km	69.235	89.558	126.074	169.350	214.076
Bahan bakar	kTon	2.481	2.905	3.574	4.353	5.320
CO ₂ eq BAU	kTon	8.171	9.178	11.294	13.607	16.814
CO ₂ eq Eff	kTon	8.171	9.154	11.217	13.468	16.555

Sumber: Hasil pengolahan data

KESIMPULAN

Perhitungan emisi GRK dilakukan dengan *baseline* tahun 2012 dan prediksi peningkatan sampai dengan tahun 2030. Hasil perhitungan emisi GRK pada kondisi tahun 2012, emisi gas CO₂ 8.145 kTon, Emisi gas hidrokarbon (CH₄) 1,04 kTon, Total emisi (CO₂ dan CH₄) 8.171,04 kTon CO₂ eq, Emisi GRK saat LTO 1.203,5 kTon CO₂ eq dan Emisi GRK saat jelajah 6.967,5 kTon CO₂ eq 85%.

Berdasarkan perhitungan, didapatkan bahwa emisi GRK didominasi oleh gas CO₂ (99,7%) sedangkan hidrokarbon kurang dari 0,3%. Emisi GRK pesawat udara pada saat tahap *cruise* sangat dominan mencapai 85% dari emisi total. Emisi GRK ini akan menyebar ke atmosfer di seluruh wilayah Indonesia dan memberikan kontribusi pemanasan baik secara nasional maupun global.

Emisi CO₂ sebanyak 8.171,04 kTon tersebut merupakan 0,46 % dari emisi GRK Nasional tahun 2005 atau sekitar 11,2 % jika dibandingkan jumlah emisi GRK sektor transportasi nasional tahun 2007. Emisi GRK Nasional tahun 2005 terpublikasi sebesar 1.760.000 kTon, sedangkan emisi GRK dari sektor transportasi sebesar 73.000 kTon [Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Angka, 2009].

Emisi GRK dari operasional pesawat udara jika dibagi dengan jumlah penumpang pesawat akan didapatkan angka sebesar 118,01 gram CO₂ eq/penumpang.km. Sebagai pembanding, operasional pesawat udara di Kanada mengemisikan GRK sebanyak 107,54 gram CO₂ eq/penumpang.km [*Canadian Aviation Industry Report on Greenhouse Gas Emissions Reductions*, 2011].

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa ada peningkatan emisi gas buang

pesawat udara sekitar 22% untuk setiap 5 tahun sampai dengan tahun 2030.

REKOMENDASI

Dalam rangka menindaklanjuti Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 Tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca perlu dibuat rencana aksi penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) yang berasal dari Bidang Energi dan Transportasi, dalam hal ini khususnya pengoperasian pesawat udara. Rencana aksi merupakan rencana program yang harus dilakukan oleh pemangku kepentingan dalam operasional penerbangan di Indonesia, seperti; Kementerian Perhubungan sebagai regulator, Pengelola Bandar Udara, Operator Pesawat Udara, perusahaan Navigasi Udara, Asosiasi Penerbangan dan pihak terkait lainnya. Rencana aksi tersebut diharapkan dapat membantu berkontribusi mencapai target penurunan emisi gas rumah kaca di bidang Energi dan Transportasi Nasional sebesar 26% atau 0,038 Gton CO₂ eq sesuai PP 61 Tahun 2011.

Program yang akan dikembangkan diharapkan tidak mengurangi atau mengorbankan tujuan pembangunan dan pertumbuhan ekonomi secara Nasional. Pada prinsipnya program penurunan GRK terdiri dari 2 (dua) hal, yaitu menurunkan emisi gas rumah kaca dari sumber emisi dan meningkatkan kapasitas penyerapan gas CO₂ Kebijakan Penurunan GRK sektor Transportasi Udara yang bisa dikembangkan antara lain penurunan emisi GRK, pengembangan *Eco Airport*, pengembangan Sistem Informasi GRK sektor Transportasi Udara.

Sedangkan Strategi yang dikembangkan dalam Penurunan GRK sektor Transportasi Udara, antara lain:

1. menghemat bahan bakar;
2. menggunakan bahan bakar ramah lingkungan;
3. menerapkan CSR Penghijauan;
4. menerapkan efisiensi energy;
5. menerapkan produksi bersih;
6. menerapkan sistem pelaporan GRK;
7. menerapkan program insentif GRK.

DAFTAR PUSTAKA

Anagnostakis, I. et al. (1999). Observations of Departure Processes at Logan Airport to Support the Development of Departure Planning Tools. *Air Traffic Control Quarterly Journal (revised from the conference version), Special Issue in Air Traffic Management, Volume 7, Number 4.*

Baughcum, S. L., et al. (1996). *Scheduled Civil Aircraft Emission Inventories for 1992: Database Development and Analysis.* NASA Contractor Report 4700. 1996.

IPCC. (1999). *Aviation and the Global Atmosphere.* Cambridge University Press.

ICAO. *Aircraft Engine Emissions Data Bank First Edition 1995.* ICAO, Doc 9646-AN/943.

Kementerian Lingkungan Hidup Emisi. (2009). *Gas Rumah Kaca Dalam Angka.*

Kementerian Lingkungan Hidup. (2009). *Kajian Kebutuhan Teknologi Indonesia.*

Lee, Joosung J. (2000). *Historical and Future Trends in Aircraft Performance, Cost and Emissions,* S.M. thesis, Dept. of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

Miller, B. et. al. *Constraints in aviation infrastructure and surface aircraft*

emissions. Massachusetts Institute of Technology.

Olivier, J. G. J. (1995). *Scenarios for Global Emissions from Air Traffic,* National Institute of Public Health and the Environment, Netherlands, Report Nr. 7733002003.

Lilik, S. (2005). *Potensi dan Dampak Polusi Udara dari Sektor Penerbangan.*

