PROFIL EMISI GAS BUANG DARI PESAWAT UDARA DI SEJUMLAH BANDARA DI INDONESIA

Profil of Gas Emissions From Plane in Some Airports of Indonesia

Wahyu Purwanta

Pusat Teknologi Lingkungan (PTL)

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Gedung 820 Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang 15314

Email: wahyu.purwanta@bppt.go.id

Diterima: 3 Nopember 2014; Diperiksa: 7 Nopember 2014; Revisi: 26 Nopember 2014; Disetujui: 22 Desember 2014

Abstract

Pollutants that generated from aircraft engines (exhaust gas pollution) to note its adverse effects on the environment, although it only accounts for about 3% of the world's total air emissions but with the number of commercial aircraft that operate from day to day increases, the percentage rate of emissions is predicted to increase. Globally, the aircraft produces 2% of the total production of carbon dioxide (CO₂) per year, or as much as 13% of the CO₂ emissions generated from all vehicles and is projected to rise to 3% until 2050. This study aims to determine the amount of greenhouse gas emissions (GHG) from the air transport sector and its prediction on the future. From the calculation results obtained in this study total greenhouse gas emissions (CO₂ and CH₄) amounted to 8171.04 kTon consisting of CO₂eq emissions while LTO 1203.5 kTon CO₂ eq (15%) and amounted to 6967.5 kTon cruise while CO₂ eq (85%) data based in 2012. GHG emissions are dominated by CO₂ gas (99.7%) while the hydrocarbon is less than 0.3%. GHGs emission aircraft during the cruise phase is dominant, reaching 85% of total emissions.

Keywords: gas emission, plane

Abstrak

Polutan yang dihasilkan dari mesin-mesin pesawat udara (exhaust gas pollution) perlu diperhatikan dampak buruknya terhadap lingkungan, meskipun hanya menyumbang sekitar 3% dari total emisi udara dunia tapi dengan banyaknya pesawat udara komersial yang beroperasi dari hari kehari semakin meningkat, maka angka persentase emisi tersebut diprediksi akan meningkat. Secara global, pesawat udara menghasilkan 2% total produksi emisi karbon dioksida (CO₂) per tahun, atau sebanyak 13 % dari emisi CO₂ yang dihasilkan dari seluruh kendaraan dan diprediksi naik menjadi 3 % sampai tahun 2050. Studi ini bertujuan mengetahui jumlah emisi gas rumah kaca (GHG) dari sektor perhubungan udara dan prediksi pada masa mendatang. Dari hasil perhitungan dalam studi ini diperoleh total emisi GRK (CO₂ dan CH₄) sebesar 8.171,04 kTon CO₂ eq terdiri atas emisi saat LTO 1.203,5 kTon CO₂ eq (15 %) dan saat cruise sebesar 6.967,5 kTon CO₂ eq (85 %) basis data 2012. 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.

Kata kunci: emisi gas buang, pesawat udara

1. PENDAHULUAN

Kontribusi angkutan udara (pesawat udara) di bidang transportasi adalah memberikan layanan pengangkutan baik orang maupun barang melalui jalur udara yang menawarkan nilai tambah berupa efisiensi waktu dan kecepatan yang lebih baik dibandingkan moda transportasi lainnya [1]. Dengan adanya faktor kecepatan tersebut disamping mampu menekan biaya produksi, mobilitas orang dan penyampaian kebutuhan barang atau jasa pun menjadi lebih cepat dan lebih baik, namun di sisi lain transportasi udara ini juga menghasilkan emisi gas buang yang merupakan polutan yang

merusak lapisan ozon [2].

Polutan yang dihasilkan dari mesin-mesin pesawat udara (*exhaust gas pollution*) perlu diperhatikan dampak buruknya terhadap lingkungan, meskipun hanya menyumbang sekitar 3% dari total emisi udara dunia tapi dengan banyaknya pesawat udara komersial yang beroperasi dari hari kehari semakin meningkat, maka angka persentase emisi tersebut diprediksi akan meningkat [3].

Hasil penelitian yang dilakukan pada tahun 1980 s.d 1990-an 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 [4]. Bahkan beberapa ahli atmosfer yang tergabung dalam badan lingkungan hidup WWF (*World Wide Fund*) tahun 1991 mengatakan bahwa yang patut dijadikan penyebab utama semakin melebarnya lubang ozon adalah polusi NO_x dari sistem transportasi udara [5]. 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 [6]. Industri penerbangan dan jasa/bisnis penerbangan memiliki andil dalam peningkatan emisi rumah kaca, prosentase dari industri penerbangan dalam kontribusinya sebagai satu dari lima sumber emisi terbesar yaitu dibawah 5% [7].

Pada tahun 1999, IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) mengeluarkan laporan dan diantara butir-butir penting adalah; 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 [8]. Laporan ini juga mencatat bahwa CO₂ tetap berada di lingkungan atmosfer selama setidaknya 100 tahun sehingga efeknya kumulatif. 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 [9]. 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 [10]. 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, sebagai antisipasinya perlu dilakukan penelitian tentang prediksi emisi gas buang pesawat udara sebagai dampak pertumbuhan industri penerbangan di Indonesia sampai dengan tahun 2030. Berkaitan dengan komitmen Pemerintah Indonesia untuk menurunkan emisi gas rumah kaca khususnya di sektor Energi dan Transportasi, maka diperlukan penelitian prediksi emisi gas buang pesawat udara sebagai dampak pertumbuhan industri penerbangan di Indonesia akan mempunyai nilai strategis untuk mendukung program pemerintah di level nasional maupun internasional. Dengan studi 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.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan kajian data, membuat analisis dan melakukan perhitungan tentang besarnya emisi gas rumah kaca yang diberikan jasa industri penerbangan dan meng-hitung besar (profil) emisi gas buang pesawat udara di Indonesia serta prediksinya sampai dengan tahun 2030.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Metode Penelitian

Studi ini menggunakan pendekatan deskriptif eksploratif yaitu dengan cara mengumpulkan data-data yang cukup dari hasil pengamatan lapangan dan data dokumen resmi yang kemudian dianalisis dengan menggunakan suatu metoda untuk memperoleh hasil yang diharapkan [11]. Adapun tahapan kerangka pendekatan yang dilakukan dalam penyelesaian studi prediksi emisi gas buang pesawat udara sebagai dampak pertumbuhan industri penerbangan di Indonesia sampai dengan tahun 2030 adalah; studi literatur, analisis pergerakan pesawat eksisting, menyusun data emisi gas buang, survei lapangan, analisis dan prediksi gas buang.

Proses atau langkah-langkah untuk memprediksi emisi gas buang pesawat udara sebagai dampak pertumbuhan industri penerbangan di Indonesia, dilakukan mulai dari penentuan jenis dan sumber data yang digunakan harus jelas dan akurat, kemudian cara atau teknik pengumpulan data yang sistematis serta penggunaan metode ilmiah dalam proses analisisnya.

2.2 Pengolahan Data

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 [12].

Proyeksi tren menurut model linier mempunyai persamaan garis :

$$Y_t = a + bt \quad t = 1, 2, 3, 4, \dots, n \quad \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

Y_t = pergerakan pesawat udara pada t

a = konstanta (*intercept*)

b = kemiringan garis trend (*slope*)

t = waktu (periode)

dengan nilai a dan b diperoleh :

$$a = \frac{\sum Y_t}{n} - b \left(\frac{\sum t}{n} \right) \quad \dots\dots\dots(2)$$

dan

$$b = \frac{\sum tY_t - (\sum t)(\sum Y_t)}{\sqrt{\sum t^2 - (\sum t)^2}} \dots\dots\dots(3)$$

Jika tren linier merupakan deret waktu yang berupa garis lurus, maka tren kuadratik merupakan deret waktu dengan data berupa garis parabolik. Proyeksi tren kuadratik ini mempunyai persamaan garis :

$$Y_t = a + bt + ct^2, \quad t = 1, 2, 3, 4 \dots n \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

Y_t = Pergerakan pesawat udara pada t
 a = intercept
 b = koefisien trend
 c = koefisien trend
 t = waktu (periode)

dengan nilai a , b dan c diperoleh dari ketiga persamaan :

$$\begin{aligned} \sum Y &= na + b \sum t + c \sum t^2 \\ \sum tY_t &= a \sum t + b \sum t^2 + c \sum t^3 \dots\dots\dots(5) \\ \sum t^2 Y_t &= a \sum t^2 + b \sum t^3 + c \sum t^4 \end{aligned}$$

Untuk mengukur sebuah deret waktu yang mengalami kenaikan atau penurunan yang cepat maka digunakan metode tren eksponensial [13]. Dalam metode ini digunakan persamaan:

$$y = e^{a+bt} \dots\dots\dots(6)$$

dengan nilai a dan b diperoleh dari persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned} \log Y &= \log a + \log b \\ \sum \log Y_t &= n \log a + (\log b) \sum t \dots\dots\dots(7) \\ \sum t \log Y_t &= (\log a) (\sum t) + (\log b) \sum t^2 \end{aligned}$$

Makin besar nilai b , maka garis trend akan menjadi terjal dan makin besar tingkat pertumbuhannya. Berikut hubungan antara b dan tingkat pertumbuhan diberikan dalam rumus :

$$\begin{aligned} b &= \log(1+r) \dots\dots\dots(8) \\ \text{antilog } b &= 1+r \end{aligned}$$

atau

$$r = (\text{anti log } b) - 1 \dots\dots\dots(9)$$

dimana :

r = tingkat pertumbuhan

Kurva Gompertz adalah menggambarkan suatu tren pertumbuhan yang berlangsung secara kontinu tetapi semakin lama semakin menurun dan pada suatu saat mendekati titik maksimal. Persamaan kurva Gompertz sebagai berikut :

$$Y_t = ab^c x^x \dots\dots\dots(10)$$

atau

$$\log Y_t = \log a + (\log b) c^x \dots\dots\dots(11)$$

dimana :

$$c^n = \frac{\sum_3 \log Y - \sum_2 \log Y}{\sum_2 \log Y - \sum_1 \log Y} \dots\dots\dots(12)$$

$$\log b = \left(\sum_2 \log Y - \sum_1 \log Y \right) \frac{c-1}{(c^n-1)^2} \dots\dots\dots(13)$$

$$\log a = \frac{1}{n} \left[\sum_1 \log Y - \frac{c^n-1}{c-1} \log b \right] \dots\dots\dots(14)$$

n = jumlah tahun dalam setiap sub periode

Penggunaan metoda kurva gompertz ini dibutuhkan data historis yang panjang. Pada proses membuat suatu keputusan yang akan dilakukan di masa yang akan datang berdasarkan deret waktu diperlukan suatu metode peramalan yang paling baik sehingga memiliki nilai kesalahan yang cenderung kecil. Untuk menentukan model peramalan yang akan dipilih sebagai model dapat digunakan metoda *Mean Square Error (MSE)* [14]. Nilai *MSE* yang paling kecil adalah model persamaan yang paling baik. Untuk mencari *MSE* digunakan rumus sebagai berikut:

$$MSE = \frac{\sum e^2}{n} \dots\dots\dots(15)$$

dimana

$$e = (y - y')$$

n = jumlah tahun

Dengan menggunakan model peramalan tersebut di atas, maka akan diperoleh nilai prediksi pergerakan pesawat di suatu bandar udara.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerbangan dalam negeri umumnya dikelompokkan berdasarkan rute angkutan udara berjadwal, angkutan udara tidak berjadwal dan angkutan udara perintis [15]. Total emisi gas buang diperoleh dari emisi gas buang berdasarkan kondisi LTO (*take off dan landing*) di setiap bandar udara dan

total emisi gas buang pesawat udara yaitu pada saat LTO dan pada saat jelajah (*cruise*) disebut dengan *Flight Total* dan juga ditambah dengan emisi yang dihasilkan dari APU (kalau ada APU nya dalam setiap penerbangan) [16]. Prediksi emisi gas buang pesawat udara, hasil perhitungannya berdasarkan pada *EMEP /EEA Emission Inventory Guide Book 2013*. Dalam penelitian ini dibatasi pada profil emisi gas buang penerbangan dalam negeri di 25 bandara utama

yang dikelola PT. Angkasa Pura. Tabel 1 dan Gambar 1 memperlihatkan hasil perhitungan emisi gas buang total dari 25 bandara yang diteliti.

Dari perhitungan terlihat bahwa bandar udara Soekarno-Hatta (CGK) merupakan bandara terbesar dalam hal konsumsi bahan bakar pesawat yang mencapai 522.319,5 ton serta menghasilkan emisi total untuk CO₂ sebesar 1.645.303 ton, NO_x sebesar 7.495, 5 ton serta SO_x sebesar 405 ton. Bandara kedua terbesar adalah Djuanda

Tabel 1. Emisi gas buang kondisi *flight total* kelompok bandar udara Angkasa Pura tahun 2012

No.	Dep A/P	Annual Flight Total							
		Fuel Burn (kg)	Fuel Burn	NOX (kg)	CO2 (kg)	SOX (kg)	H2O (kg)	CO (kg)	HC (kg)
1	CGK	522.319.525	34,20%	7.496.508	1.645.303.336	405.108	642.454.653	1.897.432	185.105
2	SUB	154.709.091	10,13%	2.151.451	487.305.698	119.091	190.286.585	585.157	53.077
3	UPG	148.292.088	9,71%	1.922.258	467.092.547	113.619	182.396.883	497.779	44.988
4	BPN	92.209.390	6,04%	1.312.051	290.444.279	70.998	113.416.274	315.78	31.109
5	DPS	87.823.799	5,75%	1.305.172	276.636.163	68.511	108.024.317	324.115	30.232
6	MES	84.667.506	5,54%	1.230.511	266.692.060	64.789	104.141.214	271.658	27.736
7	TNJ	59.181.598	3,88%	602.473	186.392.152	44.196	72.793.212	186.638	34.235
8	BDJ	38.046.981	2,49%	550.799	119.842.363	29.266	46.796.726	139.224	10.989
9	JOG	35.917.703	2,35%	575.011	113.138.551	28.195	44.176.920	160.052	13.849
10	MDC	31.031.868	2,03%	437.271	97.741.821	23.567	38.169.576	98.124	10.9
11	PKU	28.709.979	1,88%	413.826	90.429.901	22.1	35.313.321	102.844	11.725
12	KOE	25.995.119	1,70%	355.471	81.875.709	20.008	31.974.942	86.072	9.235
13	AMQ	24.009.171	1,57%	321.407	75.621.680	18.455	29.531.007	80.374	7.358
14	SRG	23.917.674	1,57%	337.986	75.340.658	19.042	29.419.073	131.015	10.797
15	PDG	22.347.431	1,46%	338.786	70.393.300	17.318	27.486.847	82.843	8.385
16	PLM	21.336.368	1,40%	318.061	67.208.497	16.672	26.242.233	102.338	11.543
17	AMI	19.304.973	1,26%	243.311	60.806.231	15.204	23.744.478	101.57	6.888
18	PNK	18.416.661	1,21%	255.383	58.013.956	14.714	22.652.375	91.599	6.075
19	BIK	15.970.781	1,05%	198.301	50.307.202	12.417	19.644.980	71.547	10.446
20	HLP	14.548.383	0,95%	175.04	45.825.264	11.237	17.894.967	59.345	8.695
21	BDO	13.125.985	0,86%	151.778	41.343.327	10.056	16.144.955	47.142	6.944
22	PGK	12.674.547	0,83%	156.363	39.924.415	9.965	15.590.169	65.066	7.298
23	DJB	12.124.608	0,79%	160.458	38.192.264	9.55	14.913.536	61.649	5.206
24	SOC	10.783.713	0,71%	151.036	33.968.932	8.396	13.263.453	53.686	4.69
25	BTJ	9.772.704	0,64%	134.357	30.784.617	7.649	12.020.545	43.293	3.755
Annual Flight Total Domestic		1.527.237.647	100%	21.295.069	4.810.624.920	1.180.122	1.878.493.240	5.656.341	561.261

Sumber: Hasil perhitungan

Surabaya (SUB) dengan konsumsi bahan bakar sebesar 154.709 ton serta menghasilkan emisi total untuk CO₂ sebesar 487.305,7 ton, NO_x sebesar 2.151,5 ton serta So_x sebesar 119,1 ton. Besaran emisi gas buang di bandara Soekarno-Hatta adalah terbesar di Indonesia mengingat bandara ini adalah bandara di Ibu kota yang berfungsi sebagai penghubung utama dan pusat transportasi udara di Indonesia sehingga memiliki angka konsumsi bahan bakar yang tertinggi pula. Adapun dari jenis gas buangmya, karbondioksida (CO₂) adalah yang terbesar diantara gas buang lainnya.

Gambar 1. Emisi gas buang kondisi Flight Total bandar udara AP tahun 2012

Gambar 2. Emisi gas buang kondisi LTO bandar udara Angkasa Pura tahun 2012

Besaran emisi gas buang juga tercermin dari besarnya bahan bakar yang terbakar (*fuel burn*) pada kondisi *Take off and Landing* (LTO). *Fuel burn* untuk setiap pesawat udara seperti terlihat pada Gambar 2 adalah hasil prediksi bahan bakar yang terbakar pada saat *Take off and Landing* (LTO) pada pesawat udara yang saat ini beroperasi di Indonesia, berdasar data yang ada, pesawat udara Boeing 747 paling banyak membakar bahan bakar pada saat LTO, dan pesawat udara RJ-1000 paling kecil [17]. Karena bandara Soekarno-Hatta memiliki kepadatan lalu lintas pesawat tertinggi maka *fuel burn* terbesar juga ada di bandara ini.

Tabel 2. Perkiraan emisi GRK masa datang

Parameter	Satuan	Baseline 2012	2015	2020	2025	2030
Penumpang (6,5%/tahun)	Juta. penumpang, km	69.235	89.558	126.074	169.35	214.076
Bahan bakar	kTon	2.481	2.905	3.574	4.353	5.32
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

Perkiraan bahan bakar dan emisi GRK dalam kurun waktu tahun 2030 disajikan dalam Tabel 2. Perkiraan ini didasarkan pada kondisi efisiensi mesin penerbangan saat ini. Jumlah penumpang pada massa mendatang diperkirakan akan meningkat sebesar 6,5%/tahun [18]. Berdasar persamaan proyektif, diperoleh bahwa emisi gas buang pesawat udara kondisi LTO periode tahun 2020 mengalami peningkatan pemakaian bahan bakar dan CO₂ 1,53 kali dari tahun 2010 sedangkan NO_x naik 1,73 kali. adapun hasilnya adalah ditampilkan pada tabel di bawah ini. Sedangkan emisi gas buang pesawat udara kondisi flight total pada periode tahun 2020 mengalami peningkatan untuk CO₂ dan pemakaian bahan bakar 1,54 kali jika dibandingkan tahun 2012, kemudian naik NO_x 1,68 kali. Nilai prediksinya ditampilkan pada Gambar 3.

Sementara itu hasil prakiraan untuk tahun 2030 diperoleh untuk emisi CO₂ pada kondisi LTO mengalami peningkatan 2,27 kali dari tahun 2012, untuk NO_x 2,5 kali sementara bahan bakar yang terpakai 2,27 kali. Prakiraan emisi total pada tahun 2030 untuk NO_x mengalami peningkatan

2,51 kali, CO₂ dan bahan bakar terpakai 2,30 kali sejak tahun 2012. Gambar 4 memperlihatkan prakiraan total emisi gas buang pada tahun 2030.

Gambar 3. Prediksi Emisi kondisi flight total Tahun 2020

Gambar 4. Prediksi Total Emisi Gas Buang Periode Tahun 2030

Jumlah gas buang yang dihasilkan pada saat tahap *landing and takeoff* (LTO) berbeda dengan pada saat pesawat dalam operasi jelajah (*cruise*). Gas buang yang dikeluarkan pesawat udara tidak semuanya mengakibatkan pemanasan global. Jika mengacu PP 71 tahun 2012, gas buang pesawat yang termasuk gas rumah kaca (GRK) adalah gas CO₂ dan hidrokarbon (CH₄) [19].

Adapun prakiraan jumlah polutan gas buang non GRK yang dikeluarkan oleh pesawat udara secara keseluruhan baik saat LTO maupun tahap *cruise* disajikan di Tabel 3. Tahun 2012 digunakan sebagai data awal (*baseline*) dalam perhitungan emisi gas buang.

Gas buang polutan tersebut berasal dari kegiatan LTO dan *cruise*. Dampak langsung gas buang pesawat terhadap lingkungan udara ambien sekitar bandar udara hanya berasal dari kegiatan LTO yang besarnya sekitar 21% dari emisi secara keseluruhan. Emisi gas buang pesawat saat LTO belum menyebabkan penurunan kualitas udara di area bandara dan sekitarnya pada tingkat baku mutu udara ambien yang dipersyaratkan [20].

Gambar 5. Prakiraan emisi GRK (Kton CO₂ Eq) masa datang

Tabel 3. Emisi gas buang polutan non GRK

No	Polutan	Jumlah (Ton)				
		2012	2015	2020	2025	2030
1	NOx	37.69	42.23	55.85	68.07	82.97
2	SO ₂	2	2.23	2.7	3.29	4.02
3	CO	10.4	11.72	12.09	14.67	17.85

4. KESIMPULAN

Operasional pesawat udara akan menghasilkan emisi gas buang yang berasal dari pembakaran bahan bakar avtur. Gas buang yang dihasilkan antara lain; gas CO₂, hidrokarbon, nitrogen oksida (NOx), sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), dan debu. Jumlah gas buang yang dihasilkan pada saat tahap *landing and takeoff* (LTO) berbeda dengan pada saat pesawat dalam operasi jelajah (*cruise*). Dari hasil perhitungan, bandara Soekarno-Hatta merupakan bandara terbesar baik dari sisi jumlah penumpang dan juga konsumsi bahan bakar sehingga emisi gas buang adalah yang tertinggi di antara bandara di bawah PT.Angkasa Pura. Dari hasil perhitungan dalam studi ini didapati total emisi GRK (CO₂ dan CH₄) sebesar 8.171,04 kTon CO₂ eq terdiri atas emisi saat LTO 1.203,5 kTon CO₂ eq (15 %) dan saat *cruise* sebesar 6.967,5 kTon CO₂ eq (85 %) basis data 2012. 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.

DAFTAR PUSTAKA

- Statistik Angkutan Udara tahun 2000-2012, Direktorat Jendral Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan
- DEFRA & Global Atmosphere Division. 2004. Revision to Method of estimating Emission from Aircraft in the UK Greenhouse Gas Inventory
- ICAO. 2011. Airport Air Quality Manual First Edition doc. 9889 Engine Exhaust Emission Data Bank
- U.S. Federal Aviation Administration (FAA). 2014. Emissions and Dispersion Modelling System (EDMS) non-certified data.
- UNEP & WMO. 2007. Climate Change 2007 – The Physical Science Basics, Summary for Policymakers, Technical Summary and FAQ, 2007
- EMEP-EEA Air pollutant emission inventory guidebook – 2013 <http://www.eea.europa.eu/publication>
- Deal, C. 2007. Climate Change Technology Transfer: Opportunity in the Developing World. WISE, Washington.
- IPCC. 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II. Cambridge.
- CASR 34 - Fuel Venting and Exhaust Emission Requirements for Turbine Engine Powered Aeroplanes.
- Republika. 2014. Badai Salju AS, 2.500 Penerbangan Batal. Diakses 28 Maret 2014 di <http://www.republika.co.id/berita/internasional/global/14/01/03/mytfvr-badai-salju-as-2500-penerbangan-batal>.
- Creswell, J. 2003. Research design – Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches, 2nd, SAGE Publication, Inc, California
- Hasan, I. 2004. Analisis data penelitian dengan statistik. PT. Bumi Aksara. Jakarta
- Suparmoko. 1999. Metode Penelitian Praktis (Untuk Ilmu-ilmu sosial, ekonomi dan bisnis). Edisi 4. BPFE-Yogyakarta.
- Dahlan, M.S. 2009. Statistik untuk kedokteran dan kesehatan – Deskriptif, bivariat, dan multivariat. Edisi 4. Penerbit Salemba Medika. Jakarta.
- Aircrat Register tahun 2008 - 2012 – Direktorat Jendral Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan
- FOCA (Federal Office of Civil Aviation). Guidance on Determination of Helicopter Emission (ref: 0/3/33/33-05-20 edision 1 –march 2009)
- ICAO. 2004. Engine Exhaust Emissions Data Bank based on average measured certification data. Emission factors apply to the LTO cycle only. Total emissions and fuel consumption are calculated based on ICAO standard time-in-mode and thrust levels.
- KOMPAS. 2014. Bandara Soekarno-Hatta Hilang 37 Tahun Lagi. Diakses 28 Maret 2014 di <http://megapolitan.kompas.com/read/2013/01/22/15073092/Bandara.Soekarno-Hatta.Hilang.37.Tahun.Lagi>.
- National Development Planning Agency (Bappenas). 2009. Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap (ICCSR) – Synthesis Report.
- Bratasida, L. 2010. Low Carbon Development Path in Indonesia: Challenges and Opportunities. Bahan presentasi pada Asia-Pacific Business Forum (APBF) April 2010, United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP)