

POTENSI DAN DAMPAK POLUSI UDARA DARI SEKTOR PENERBANGAN

Lilik Slamet S.

Peneliti Bidang Aplikasi Klimatologi dan Lingkungan Atmosfer, LAPAN

RINGKASAN

Peningkatan jumlah frekuensi penerbangan berpotensi menghasilkan polutan yang dilepas ke udara. Polutan ini berasal dari bahan bakar pesawat terbang, pengatur udara dalam pesawat (AC), dan pengharum ruangan dalam pesawat. Avtur dan kerosin sebagai bahan bakar pesawat terbang akan menghasilkan emisi CO₂, CH₄, NO_x, CO, dan SO₂. Karbondioksida, metana, dan constrails (materi polutan yang efektif menyerap panas dan berdampak pada pemanasan global). *Chlorofluorocarbon* (CFQ yang terkandung baik dalam AC, pengharum ruangan dalam pesawat serta NO_x berpotensi merusak lapisan ozon di stratosfer. Dengan melihat potensi polusi udara dan dampak polusi dari pesawat terbang, maka perlu dilakukan pengelolaan ruang udara untuk kesinambungan lingkungan atmosfer dan lingkungan hidup. Salah satu cara partisipasi adalah dana lingkungan tercakup ke dalam harga tiket pesawat udara.

1 PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia yang berbentuk negara kepulauan sangat membutuhkan transportasi udara. Transportasi udara dipilih karena jenis transportasi dengan media ini lebih cepat dan mudah untuk hubungan antarlokasi yang saling berjauhan. Tabel 1-1 menyajikan jumlah pesawat terbang dari penerbangan domestik yang *landing* (mendarat) dan *take off* Qepas landas) dari bandara-bandara yang terdapat di Indonesia.

Tabel 1-1 menunjukkan bahwa jumlah pesawat terbang yang datang dan berangkat adalah tidak sama. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya kecelakaan pesawat atau frekuensi penerbangan untuk rute yang sama adalah berbeda. Pesawat terbang yang datang cenderung lebih besar dari yang berangkat setiap tahunnya. Jumlah pesawat terbang yang

datang periode tahun 1998-2000 mengalami peningkatan, hal sebaliknya terjadi pada periode 1995-1997. Jumlah pesawat terbang yang berangkat periode 1995-1998 mengalami penurunan, sebaliknya terjadi pada tahun 1999-2000.

Frekuensi penerbangan di dalam negeri saat ini juga meningkat dengan banyaknya maskapai penerbangan yang beroperasi. Peningkatan ini dikarenakan adanya kebijakan pemerintah untuk swastanisasi maskapai penerbangan dalam negeri, seiring dengan krisis ekonomi yang melanda negeri ini di tahun 1998. Semakin banyak maskapai penerbangan baik domestik maupun luar negeri, tentunya akan semakin meningkat pula polutan udara yang dilepaskan.

Tabel 1-1: JUMLAH PESAWAT TERBANG (UNIT) DARI PENERBANGAN DOMESTIK

Tahun	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Keberangkatan	345.159	361.352	306.561	262.231	237.257	258.610
Kedatangan	346.671	363.372	306.800	222.144	289.124	376.298

Sumber : Biro Pusat Statistik, 1995-2000

Penelitian tentang polusi udara yang bersumber dari transportasi darat telah banyak dikaji. Sebaliknya sumber polusi udara dari transportasi udara belum banyak diketahui. Hal ini mungkin dikarenakan metode observasi dan pengukuran polutan udara (zat pencemar) dari limbah transportasi udara adalah sulit dan memakan biaya yang relatif tinggi serta belum dianggap sebagai suatu ancaman. Oleh karena itu, pada tulisan ini besarnya emisi polutan udara dari sektor penerbangan hanya menggunakan persamaan yang dikeluarkan oleh IPCC(1994).

Perbedaan antara ke dua jenis transportasi (darat dan udara) terdapat pada bahan bakar yang digunakan. Bahan bakar transportasi darat didominasi oleh solar dan bensin, sedangkan pesawat terbang menggunakan avtur (*jet fuel*) sebagai bahan bakarnya atau jenis kerosine. Solar, bensin, dan avtur adalah bahan bakar fosil yang bersumber pada tambang minyak bumi. Perbedaan polutan udara yang dihasilkan oleh pesawat terbang dengan kendaraan bermotor adalah pada kadar polutan yang dihasilkan. Jenis polutan udara yang dibuang oleh ke dua jenis transportasi ini adalah sama yaitu karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan sulfur dioksida (SO₂).

Pengkajian polusi udara dari transportasi udara perlu dilakukan, karena *pertama*, secara kasat mata transportasi udara berjarak lebih dekat mencemari udara karena dibuang pada lapisan bagian atas troposfer dan lapisan bagian bawah stratosfer (9 - 13 km dari permukaan bumi), mendekati lapisan ozon. Sampai saat ini ketinggian yang dapat dijangkau oleh sebagian besar pesawat udara adalah 60 sampai 80 km dari permukaan bumi. Tidak seperti transportasi darat yang masih bersentuhan langsung dengan permukaan tanah. *Kedua*, polutan udara dari sumber transportasi darat dapat diabsorpsi oleh vegetasi. Polutan yang dihasilkan transportasi udara tidak ada yang mengabsorpsinya. CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil transportasi darat dapat diabsorpsi oleh tumbuhan hijau (jika proporsi antara CO₂ dengan tumbuhan hijau seimbang). Kelebihan CO₂ di

udara yang tidak dapat diabsorpsi lagi oleh tumbuhan hijau mengakibatkan banyak CO₂ di atmosfer dan berperan sebagai gas rumah kaca yang semakin memanasi bumi. Hanya air hujan yang mampu mencuci polutan udara yang terapung-apung di atmosfer yang agak jauh dari permukaan.

Dunia penerbangan menghadapi dilema terhadap lingkungan atmosfer. Pesawat udara yang terbang rendah (sekitar 1800 m) tidak efisien dalam penggunaan bahan bakar yang berarti polutan udara yang dihasilkan semakin meningkat. Jika pesawat udara terbang pada ketinggian yang relatif tinggi, pesawat akan efisien dalam penggunaan bahan bakar, tetapi menghasilkan constants. *Constrails* terbentuk pada atmosfer yang basah (sangat dingin). Efektivitas penggunaan bahan bakar pada pesawat tidak saja berdampak pada terbentuknya *constrails* juga emisi NO_x yang dihasilkan meningkat. NO_x adalah komponen pembentuk smog. Oleh karena itu *International Civil Aviation Organization* (ICAO; organisasi penerbangan sipil internasional) mengeluarkan peraturan untuk penetapan standar emisi NO_x harus berkurang 12 %, mulai berlaku pada tahun 2008. Tulisan ini bertujuan mengemukakan potensi polusi udara dari penerbangan dan juga potensi dari dampak polusi tersebut terhadap lingkungan atmosfer.

2 POLUSI UDARA DARI SEKTOR PENERBANGAN

Michaelis (1997) menyatakan bahwa penerbangan menyumbang 12% emisi CO₂; global pada tahun 1990. *Intergovernmental Panel On Qimate Change* (1994) memprakirakan pada tahun 2050 mendatang, emisi CO₂ yang ditimbulkan oleh kegiatan penerbangan akan tumbuh 2-10 kali lipat jika dibandingkan emisi pada tahun 1992.

Selain menghasilkan emisi CO₂, kegiatan penerbangan juga menghasilkan NO_x (nitrous oksida), VOC (Volatile Organic Compound), CO (karbon monooksida), SO₂ (sulfur dioksida). Tabel 2-1 menyajikan polutan-polutan dari penerbangan dan persentase kontribusinya dari sumber-sumber polutan yang ada.

Tabel 2-1: EMISI BERBAGAI POLUTAN UDARA DARI KEGIATAN PENERBANGAN

	CO ₂ (megaton)	NO _x (kiloton)	VOC (kiloton)	CO (kiloton)	SO ₂ (kiloton)
Penerbangan	498	1.786	406	679	156
Semua sumber	22.000	82.000	27.000	303.000	130.000
Kontribusi (%)	2,3	2,2	1,5	0,2	0,1

Sumber: VROM, 1995

Dari Tabel 2-1 dapat diketahui bahwa emisi polutan paling besar dari kegiatan penerbangan adalah CO₂. Walaupun emisi paling besar adalah CO₂, tetapi kontribusinya hampir sama dengan emisi NO_x (bergerak pada angka IX sampai 23 %). *Volatile organic compound* adalah senyawa organik yang mudah menguap. Hampir semua emisi polutan udara dari kegiatan penerbangan hanya berkontribusi kecil. Tetapi bila ini dibiarkan terus maka seiring berjalannya waktu dapat membahayakan, karena masing-masing polutan udara memiliki *life time* yang berbeda-beda. Pada Tabel 2-1 tidak terlihat emisi CFC (*chloro fluoro carbon*) dari sektor penerbangan.

Polutan udara secara umum terbagi ke dalam golongan gas rumah kaca (GRK) dan aerosol. Ke dua golongan polutan udara ini bekerja berlawanan. Gas rumah kaca akan memanasi bumi, sedangkan aerosol bersifat mendinginkan atmosfer. Gas-gas yang lenasuk ke dalam golongan gas rumah kaca adalah CO₂, CH₄ (metana), NO_x (nitrous oksida), dan CFC (clorofluorocarbon). Golongan aerosol berasal dari molekul sulfat. CO₂ dan CH₄ lebih banyak membawa dampak pada pemanasan global, sedangkan CFC dan NO_x berakibat pada rusaknya lapisan ozon. Lapisan ozon berfungsi untuk menyerap radiasi sinar ultraviolet dari matahari. Kemsakan lapisan ozon mengakibatkan intensitas radiasi ultraviolet yang sampai ke permukaan bumi meningkat sehingga akhinya berakibat pemanasan global juga.

Pembentukan dan perusakan molekul ozon sebagian besar disebabkan oleh adanya katalis-katalis seperti NO_x (nitrogen oksida), O₃ (gugus klonri), dan HO_x (gugus hidroksil).

Katalis-katalis tersebut berasal dari aktivitas yang sengaja dilakukan oleh manusia. Aktivitas transportasi, industri, rumah tangga, dan pertanian lahan sawah adalah beberapa kegiatan manusia yang menghasilkan polutan udara dari jenis-jenis tersebut. Sedangkan aktivitas alami seperti letusan gunung api, gempa tektonik, dan gelombang laut banyak melepaskan aerosol yang diyakini berpengaruh pada konsentrasi molekul ozon.

Menurut Budiyo (2000) jenis zat polutan udara yang merusak ozon sangat tergantung pada ketinggian. Di ketinggian lapisan mesopause (perbatasan antara lapisan termosfer dengan lapisan mesosfer) sekitar 80 sampai 85 km di atas permukaan bumi, molekul ozon dirusak dan mendapatkan gangguan dari gugus hydrogen. Metana termasuk ke dalam gugus hydrogen. Sampai saat ini ketinggian yang dapat dijangkau oleh pesawat udara adalah 60 sampai 80 km dari permukaan.

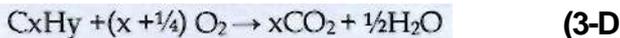
Pada ketinggian antara 20 sampai dengan 40 km di atas permukaan bumi (pada lapisan stratosfer) molekul ozon dirusak oleh oksida nitrogen (NO_x). Bahan bakar fosil pada umumnya dan avtur pada khususnya disamping mengandung unsur karbon (Q juga mengandung unsur nitrogen (N). Hal ini dikarenakan nitrogen menduduki persentase terbesar dalam susunan kimia atmosfer yaitu sebesar 78 % sehingga dalam bahan bakar juga terdapat unsur nitrogen. NO_x yang diemisikan pada ketinggian 9 km sampai 13 km akan mengganggu keseimbangan panas sistem atmosfer-bumi. Pembakaran (oksidasi) bahan bakar fosil juga nantinya akan menghasilkan NO_x. Reaksi oksidasi nitrogen adalah sebagai berikut



Pada ketinggian 8 km sampai dengan 20 km di atas permukaan bumi (setara kira-kira dengan lapisan stratosfer bawah atau *tropopause*; batas antara lapisan troposfer dengan stratosfer) molekul ozon dirusak oleh gugus klorin seperti CFC (*chloro fluoro carbon*) yang berasal dari hasil limbah aktivitas industri dan rumah tangga.

3 PERHITUNGAN BESARNYA EMISI

Setiap reaksi oksidasi kimia hidrokarbon (gugus materi yang mengandung unsur karbon dan hydrogen) selalu menghasilkan karbon-dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O). Reaksi oksidasi materi hidrokarbon adalah



Besarnya emisi CO₂ dan CH₄ dari berbagai hasil rununan minyak bumi dihitung dengan menggunakan persamaan 3-2 dan 3-3.

$$EmisiCO_2 = \frac{\text{Massa molekul relatif CO}_2 \times \text{Faktor emisi karbon}}{\text{Massa atom C}} \quad (3-2)$$

$$EmisiCH_4 = \frac{\text{Massa molekul relatif CH}_4 \times \text{Faktor emisi karbon}}{\text{Massa atom relatif C}} \quad (3-3)$$

dengan

Massa atom relatif C = 12, O = 16, H = 1

Faktor emisi karbon untuk berbagai hasil rununan zat bahan bakar dari yang berbobot molekul tinggi (bentuk fasanya padat seperti aspal) sampai dengan zat berbobot molekul rendah (mendekati bentuk fasa gas seperti gas alam) disajikan pada Tabel 3-1.

Dari Tabel 3-1 dapat diketahui bahwa terdapat 8 hasil rununan minyak bumi, termasuk diantaranya avtur dan kerosine sebagai bahan bakar pesawat terbang. Selain 8 rununan hasil minyak bumi masih terdapat lagi hasil rununan yang lain.

Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 3-2 dan 3-3 dihasilkan emisi CO₂ dan CH₄ seperti tersaji pada Tabel 3-2.

Tabel 3-1: BERBAGAI TURUNAN HASIL TAMBANG MINYAK BUMI

No	Hasil Turunan Minyak Bumi	Produksi Energi (GJ/10 ³ ton)	Faktor Emisi Karbon (kg C/GJ)
1.	Bensin	44.800	18,9
2.	Kerosine	44.750	19,6
3.	Avtur	44.590	19,5
4.	Solar	43.330	20,2
5.	Gas Alam Cair	47.310	17,2
6.	Naftalin	45.010	20,0
7.	Minyak Tanah	40.190	27,5
8.	Aspal	40.190	22,0

Sumber: IPCC, 1994

Tabel 3-2: EMISI CO₂ DAN CH₄ DARI JEMS BAHAN BAKAR MINYAK (BBM)

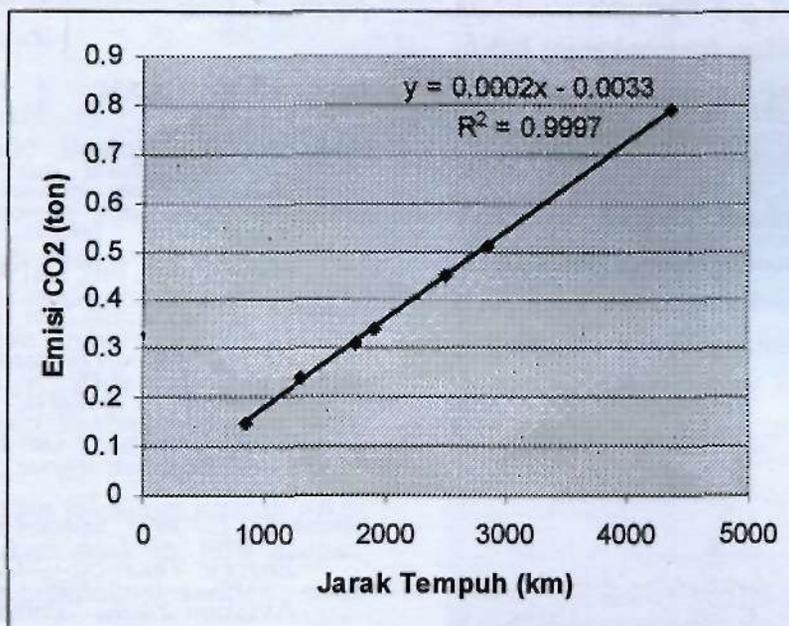
Jenis BBM	Emisi CO ₂ (kg CO ₂ /GJ/10 ³ ton)	Emisi CH ₄ (kg CH ₄ /GJ/10 ³ ton)
1. Bensin	69,3	75,6
2. Kerosin	71,9	78,4
3. Avtur	71,5	78,0
4. Solar	74,1	80,8
5. Gas alam cair	63,1	68,8
6. Naftalin	73,3	80,0
7. Minyak Tanah	100,8	110,0
8. Aspal	80,7	29,3

Sumber: Hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 3-1 dan 3-2.

Tabel 3-3: RUTE PENERBANGAN DOMESTIK SERTA EMISICO2

No.	Rute Penerbangan	Jarak Tempuh (km)	Emisi CO2 (ton)
1.	Jakarta - Denpasar	1.908	0,34
2.	Jakarta - Yogyakarta	852	0,15
3.	Jakarta - Medan	2.846	0,51
4.	Jakarta - Surabaya	1.306	0,24
5.	Jakarta - Batam	1.742	0,31
6.	Jakarta - Balikpapan	2.484	0,45
7.	Jakarta - Manado	4.364	0,79

Sumber: internet dengan situs aircraft_methodology.pdf.



Gambar 3-1: Hubungan antara jarak tempuh pesawat terbang dengan emisi CO₂

Dari Tabel 3-2 diketahui bahwa sektor penerbangan atau pesawat udara yang menggunakan bahan bakar avtur akan menghasilkan emisi 71,5 kg CO₂ dan 78 kg CH₄ untuk setiap 1000 ton avtur yang digunakan. Sementara pesawat udara dengan bahan bakar kerosin akan menghasilkan emisi 71,9 kg CO₂ dan 78,4 kg CH₄ untuk jumlah bahan bakar yang sama.

Umumnya avtur lebih sedikit mengemisikan polutan baik CO₂ maupun CH₄ jika dibandingkan dengan kerosin.

Kalau sebelumnya adalah penghitungan emisi CO₂ dan CH₄ untuk setiap bahan bakar yang digunakan. Tabel 3-3 di bawah ini adalah emisi CO₂ sebagai fungsi jarak dari berbagai penerbangan domestik.

Dari Tabel 3-3 dapat dibuat persamaan regresi antara jarak dengan emisi CO₂ dan dengan perbandingan stokiometri dapat dihitung emisi CH₄.

Dari Gambar 3-1 dihasilkan persamaan regresi antara jarak tempuh pesawat terbang (x) dengan emisi CO₂ yang dihasilkan (y). Koefisien korelasi (r) dari persamaan di atas adalah 0,99. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan regresi ini adalah kuat dan dapat digunakan untuk memprakirakan emisi CO₂ yang lain untuk jarak tempuh yang berbeda.

Selain bahan bakar avtur dari pesawat terbang yang mempolusi udara, terdapat juga gas CFC. Jenis gas ini berasal dari freon pada AC untuk mendinginkan dalam ruangan pesawat,

atau penyemprot pengharum ruangan dalam pesawat

Selain merusak lapisan ozon, dampak polusi udara dari penerbangan akan berpotensi pada pemanasan global. Penerbangan dengan menggunakan pesawat terbang bermesin jet akan menghasilkan "*constrails*" (*condensation trails*). *Constrails* adalah awan putih panjang yang terbentuk di belakang (ekor) pesawat jet yang terbang tinggi. *Constrails* terbentuk dari salah satu komponen gas buangan mesin jet yaitu air. Reaksi oksidasi (pembakaran) bahan bakar hidrokarbon selalu menghasilkan CO₂ dan H₂O (lihat persamaan 2-1). *Constrails* tidak hanya mengandung uap air, tetapi juga sulfat dan NO_x. Polutan-polutan tersebut dapat bercampur dengan atmosfer hingga dapat membentuk awan dengan efek pemanasan 2 sampai 3 kali lipat dari pada pemanasan akibat emisi CO₂ terhadap bumi. Awan jenis cirrus yang dihasilkan *constrails* berpotensi menjadikan suhu bumi lebih hangat

4 PENUTUP

Peningkatan frekuensi penerbangan telah menambah polutan udara. Avtur sebagai bahan bakar pesawat udara mengemisikan CO₂, CH₄, NO_x, SO₂, dan CO. Metana dan CO₂ adalah dua buah gas rumah kaca yang efektif dalam menangkap panas sehingga memungkinkan terjadinya pemanasan global. *Constrails* juga mengakibatkan suhu bumi menjadi relatif lebih tinggi. Besarnya emisi polutan udara dari kegiatan penerbangan tergantung pada jarak tempuh dan ketinggian terbang, disamping itu pesawat udara juga berpotensi merusak lapisan ozon di stratosfer. Hal ini dikarenakan ketinggian terbang pesawat udara dan material pesawat udara yang mengandung CFC. Lapisan ozon berfungsi sebagai filter terhadap radiasi sinar ultraviolet dari matahari yang membahayakan kehidupan di bumi.

Pentingnya keselairvatan kehidupan di bumi dari pengaruh polusi udara pesawat terbang membutuhkan pengelolaan ruang udara baik secara nasional maupun internasional. Dampak polusi dari penerbangan belum tertangani secara internasional. Partisipasi penumpang secara tidak langsung dapat diikutkan dalam mengelola ruang udara untuk mewujudkan "Langit Biru" salah satunya adalah dana lingkungan tercakup dalam harga tiket pesawat udara.

DAFTAR RUJUKAN

- Budiyono, A., Nurlaini, Nurzaman A., 2000. *Hubungan Ozon Permukaan Dan Prehirsomya (Studi Kasus : Jakarta)*, Majalah LAPAN, No. 3, Vol. 2, Juli, LAPAN, Jakarta.
- Depanri, 2003. *Defnisi Dan Delimitasi Antariksa*, Kongres Kedirgantaraan Nasional II, 22-23 Desember, Jakarta.
- IPCC, 1994. *Greenhouse Gas Inventory Workbook*, Vol.2, UNEP.
- Michaelis, L, 1997. *Special Issues In Carbon/ Energy Taxation : Carbon Charge on Aviation Fuels, "Policies And Measures For Common Action "* Working Paper 12 Annex I, Expert Group on The UNFCCC, OECD, Paris.
- Pikiran Rakyat, 2005. *Polusi Pesawat Jet Mempengaruhi Mini Global*, Granesia, Bandung.
- VROM, 1995. *Government Policy of The Netherlands On Air Pollution And Aviation*, Netherlands Ministry Mousing, Spatial Planning And Environment Ministry Of Transport Public Work And Water Management And Ministry Of Defence The Hague.