

KARAKTERISTIK KOMPOSISI ATMOSFER INDONESIA TAHUN 2003-2014 BERBASIS DATA SATELIT

CHARACTERISTICS OF ATMOSPHERIC COMPOSITION OF INDONESIA IN 2003-2014 BASED ON SATELLITE DATA

Ninong Komala

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
pos-el: Niñong.komala@lapan.go.id; Niñongk@yahoo.com

ABSTRACT

Research on analysis of the composition of the atmosphere in Indonesian based on satellite data has been conducted. The aim of the research is to understand the characteristics of atmospheric parameters in Indonesia especially ozone, CO and CH₄. Sources of natural and anthropogenic activity can affect the amount and character of the chemical composition of the atmosphere, including ozone, CO and CH₄. The characteristics of the chemical composition of the atmosphere studied by performing data inventory of ozone, CO and CH₄ data based on AQUA-AIRS for the period of 2003-2014. The method of this research is the analysis of the annual and seasonal pattern also perform statistical analysis of the relationship between ozone variation with CO and CH₄. Analysis of temporal variations provide results that ozone in Indonesia vary between 215 up to 271 DU. CO between 1.5 to 2.9 10¹⁸ molecules/cm² while CH₄ varies between 3.66 to 3.77 10¹⁹ molecules/cm². Analysis of seasonal variations shown by the variation of ozone and CO, while CH₄ besides showing seasonal variations also showed an increasing trend from year to year. Analysis of seasonal variation of ozone reaches a maximum at JJA (246.9 DU) and minimum at DJF (231.8 DU). Maximum of CO shown in SON (1.83 10¹⁸ molecules/cm²) and minimum on MAM (1.74 10¹⁸ molecules/cm²) while the seasonal pattern of CH₄ reaches a maximum at the JJA (3.71 10¹⁹ molecules/cm²) and minimum on SON (3.69 10¹⁹ molecules/cm²).

Keywords: AQUA-AIRS, CH₄, CO, ozone

ABSTRAK

Penelitian analisis komposisi atmosfer Indonesia berbasis data satelit telah dilakukan dengan tujuan untuk memahami karakteristik parameter atmosfer di Indonesia khususnya ozon, CO dan CH₄. Sumber alamiah dan aktivitas antropogenik dapat mempengaruhi jumlah maupun karakter komposisi kimia di atmosfer termasuk ozon, CO dan CH₄. Karakteristik komposisi kimia di atmosfer diteliti dengan melakukan inventori data ozon, CO dan CH₄ berbasis data AQUA-AIRS periode 2003-2014. Metoda penelitian yang dilakukan adalah analisis pola tahunan, musiman serta melakukan analisis statistik keterkaitan perubahan ozon dengan CO dan CH₄. Analisis variasi temporal memberikan hasil bahwa ozon di Indonesia bervariasi antara 215 DU sd 271 DU. CO antara 1,5 sd 2,9 10¹⁸ molekul/cm² sedangkan CH₄ bervariasi antara 3,66 sd 3,77 10¹⁹ molekul/cm². Analisis variasi musiman ditunjukkan oleh variasi ozon dan CO, sedangkan CH₄ selain menunjukkan variasi musiman juga menunjukkan trend peningkatan dari tahun ke tahun. Analisis variasi musiman ozon mencapai maksimum pada JJA (246,9 DU) dan minimum pada DJF (231,8 DU). CO maksimum pada SON (1,83 10¹⁸ molekul/cm²) dan minimum pada MAM (1,74 10¹⁸ molekul/cm²) sedangkan pola musiman CH₄ mencapai maksimum pada JJA (3,71 10¹⁹ molekul/cm²) dan minimum pada SON (3,69 10¹⁹ molekul/cm²).

Kata kunci : AQUA-AIRS, CH₄, CO, ozon

PENDAHULUAN

Penelitian komposisi atmosfer secara kontinyu di wilayah Indonesia dilatar belakangi oleh masih sangat terbatas dan masih sangat sulit untuk melakukan penelitian terutama untuk cakupan wilayah yang luas. Oleh karena itu data komposisi atmosfer dari satelit yang mengamati komposisi atmosfer sangat diperlukan karena data parameter atmosfer dari data satelit dapat

digunakan untuk mengamati dan menganalisis karakteristik parameter atmosfer dalam cakupan yang luas dan periode waktu yang cukup panjang.

Penelitian komposisi atmosfer di wilayah Indonesia berbasis data satelit dilakukan dengan tujuan untuk memahami karakteristik dari masing-masing parameter berupa variasi masing-masing konsentrasi parameter atmosfer serta keterkaitannya dengan parameter atmosfer yang

lain. Penelitian komposisi atmosfer Indonesia dilakukan dengan menggunakan data ozon, CO dan CH₄ dari AQUA-AIRS dengan periode pengamatan dari tahun 2003 sampai dengan tahun 2014.

Sebagian besar ozon (sekitar 97%) ditemukan di atmosfer terkonsentrasi di stratosfer pada ketinggian 15 sampai 55 kilometer di atas permukaan bumi. Ozon stratosfer ini berperan sangat penting untuk kehidupan di bumi karena menyerap radiasi ultraviolet yang berbahaya. Dalam beberapa tahun terakhir, tingkat ozon stratosfer telah menurun karena aktivitas antropogenik berupa pelepasan kloro fluoro karbon (CFC) ke atmosfer sejak akhir 1970-an. Pengukuran satelit telah menunjukkan bahwa zona dari 65° Lintang Utara sampai 65° Lintang Selatan telah mengalami penurunan ozon stratosfer sekitar 3% sejak tahun 1978. Untuk wilayah lintang menengah, karakteristik ozon secara vertikal, latitudinal, maupun musiman telah menunjukkan adanya perubahan yang menunjukkan bahwa halogen menjadi penyebab utama dari fenomena ini. Proses penguraian ozon di stratosfer bawah dikatalisis oleh reaksi dengan BrO, ClO, HO₂, dan N₂O.^{1,2}

Pembentukan ozon paling tinggi terjadi di wilayah katulistiwa karena sinar matahari bersinar terus menerus sepanjang tahun. Akan tetapi, konsentrasi ozon paling besar terdapat di wilayah kutub (lintang tinggi dan lintang menengah) disebabkan adanya transport ozon dan dinamika atmosfer dari khatulistiwa. Konsentrasi ozon total di wilayah tropis meningkat pada saat musim kemarau dan menurun saat musim hujan.^{3,4}

Karbon monoksida (CO) dapat bereaksi dengan hidroksil (OH) radikal di atmosfer. Karena OH radikal dapat mengurangi *life time* gas rumah kaca seperti CH₄, CO secara tidak langsung dapat meningkatkan potensi pemanasan global dari gas rumah kaca. Karbon monoksida di atmosfer juga dapat menyebabkan pembentukan ozon di troposfer yang bersifat gas rumah kaca. Konsentrasi CO di atmosfer global bervariasi sepanjang tahun, mulai dari 30 ppb hingga sekitar 200 ppb. Disamping berasal dari sumber buatan manusia, CO juga dapat berasal dari oksidasi CH₄ dan hidro karbon lainnya di atmosfer. Sedangkan *sink* (rosot) dari CO adalah karena bereaksi dengan OH di atmosfer, juga karena deposisi di permukaan (*ground*). Saat ini lebih dari setengah dari emisi CO ke atmosfer adalah buatan manusia. Konsentrasi tertinggi CO cenderung terjadi dekat wilayah dengan populasi yang tinggi. Pada skala global, belahan bumi

utara lebih padat penduduknya sehingga memiliki konsentrasi CO yang lebih tinggi dibandingkan di belahan bumi selatan. Pembakaran biomassa dan penggunaan bahan bakar fosil merupakan sumber utama emisi karbon monoksida buatan manusia.⁵ Sumber utama CO berasal dari proses pembakaran tidak sempurna pada bahan bakar minyak, pembakaran biomassa, dan proses oksidasi fotokimia pada metana dan hidrokarbon lainnya di atmosfer. Sumber utama CO berasal dari wilayah daratan yang memiliki faktor terpenting sumber CO yaitu emisi antropogenik dan pembakaran biomassa di musim kering/kemarau di wilayah tropis dan pada periode hangat di wilayah lintang tinggi. Oksidasi fotokimia metana dan hidrokarbon menjadi sumber penting CO di daerah tropis begitu juga untuk daerah lintang tinggi di musim panas. Penyebab utama terurainya CO adalah akibat reaksi dengan radikal OH yang memicu pembentukan CO₂ dan perusakan ozon. Pada kondisi daerah yang terpolusi, nitrogen oksida dapat menjadi penyebab terurainya CO yang memicu pembentukan CO₂ dan ozon.⁶

Metana (CH₄) adalah gas rumah kaca terpenting kedua. CH₄ lebih kuat dari CO₂ karena *forcing radiasi* yang dihasilkannya per molekul lebih besar. Keberadaan CH₄ di atmosfer konsentrasinya jauh lebih rendah dari CO₂ di atmosfer. Konsentrasi CH₄ yang terukur biasanya dalam bagian per miliar (ppb) sedangkan CO₂ dalam bagian per sejuta (ppm). CH₄ juga memiliki waktu tinggal di atmosfer jauh lebih pendek daripada CO₂. Waktu tinggal untuk CH₄ kira-kira 10 tahun, dibandingkan dengan CO₂ yang mempunyai waktu tinggal di atmosfer selamatusahun. Sumber alami CH₄ diantaranya adalah lahan basah di daerah tropis dan di belahan bumi utara. *Sink* (rosot) untuk CH₄ adalah atmosfer itu sendiri, karena CH₄ mudah bereaksi dengan radikal hidroksil (OH) di troposfer juga di stratosfer. Di troposfer dan stratosfer CH₄ akan membentuk CO₂ dan uap air (H₂O). Rosot alami CH₄ lainnya adalah tanah, yang mengakibatkan CH₄ teroksidasi oleh bakteri.⁵ Konsentrasi CH₄ mengalami peningkatan karena aktivitas antropogenik termasuk pertanian, pembakaran biomassa, tambang batubara. Aktivitas antropogenik ini sangat signifikan mempengaruhi budget CH₄ secara global.⁷ Perubahan konsentrasi CH₄ juga akan berpengaruh terhadap produksi ozon di troposfer.⁸ Oksidasi CH₄ oleh OH juga merupakan sumber utama CO dan formaldehid di troposfer.⁹

METODOLOGI

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data total kolom ozon (DU), CO (10^{18} molekul/cm²) dan CH₄ (10^{19} molekul/cm²) di wilayah Indonesia (10° LU – 10° LS dan 94° BT-141° BT) hasil observasi *Atmospheric Infra Red Sounder* (AIRS) dari satelit Aqua. Data yang diperoleh merupakan data global rata-rata bulanan dengan grid 1° lintang x 1° bujur. Periode data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dari tahun 2003 sampai dengan tahun 2014.^{10,11}

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah melakukan ekstraksi data ozon, CO dan CH₄ untuk wilayah Indonesia dari data AQUA-AIRS global dalam format HDF untuk periode 2003 sampai dengan 2014.

Selanjutnya dilakukan konversi data dari HDF format untuk data ozon, CO dan CH₄ menggunakan HDF view dan EXCELL. Kemudian dilakukan pengolahan data dengan analisis *time series* untuk memperoleh variasi musiman dan tahunannya. Selanjutnya dibuat diagram Hovmoller untuk menunjukkan variasi ozon, CO dan CH₄ pada posisi lintang dan bujur Indonesia yang mengalami perubahan konsentrasi dengan berubahnya waktu. Dilakukan pula analisis keterkaitan ozon dengan CO dan CH₄ di Indonesia yang akan menjelaskan pengaruh CH₄ dan CO terhadap ozon.

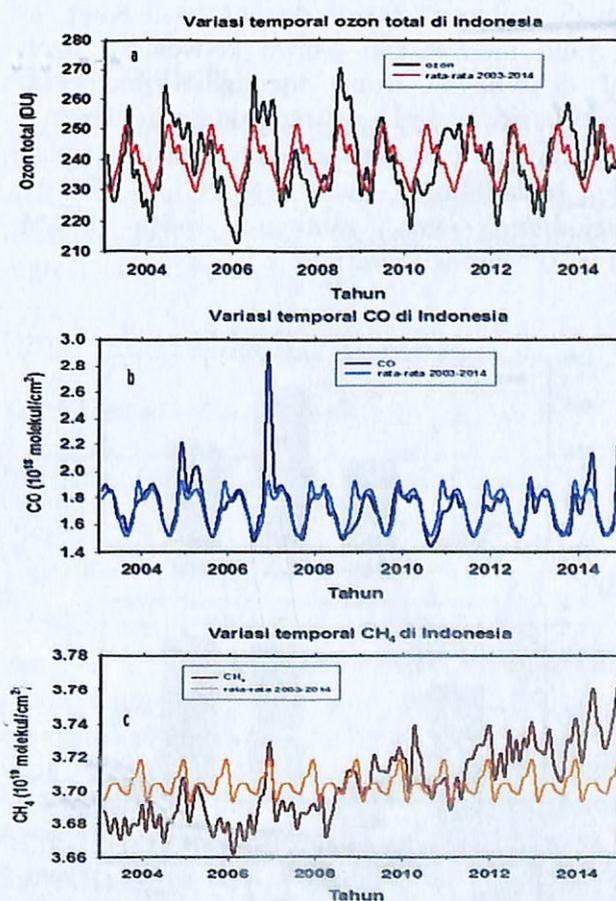
HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi temporal ozon, CO dan CH₄

Variasi temporal ozon, CO dan CH₄ Indonesia dari data AQUA-AIRS dapat memberikan gambaran karakter ketiga parameter tersebut berupa pola tahunan, musiman, dan variasinya dari tahun ke tahun. Pada Gambar 1.a dapat dilihat variasi temporal ozon di Indonesia yang bervariasi antara 215 DU sampai dengan 271 DU. Konsentrasi ozon yang rendah terjadi pada tahun 2005, 2007 dan 2010 hal ini terkait dengan kondisi La Niña yang identik dengan kandungan uap air yang tinggi. Sebagai konsekuensinya kondisi ozon akan menjadi lebih rendah karena uap air dapat merusak ozon sehingga ozon di tahun-tahun terjadinya La Niña menjadi lebih rendah. Sedangkan pada tahun 2004, 2006 dan 2009 terjadi kondisi sebaliknya yaitu konsentrasi uap air sangat minim karena musim kemarau yang panjang sehingga konsentrasi uap air yang minim tidak dapat merusak proses pembentukan ozon sehingga konsentrasi ozon menjadi lebih tinggi.

Variasi temporal CO di Indonesia ditampilkan pada Gambar 1(b). Dari tahun 2003 s.d. 2014 di Indonesia konsentrasi CO bervariasi antara 1,5 s.d. $2,9 \times 10^{19}$ molekul/cm². Nilai maksimum terjadi pada bulan Oktober tahun 2004 dan 2006 karena didominasi oleh pengaruh peristiwa kekeringan dan kebakaran hutan. Variasi temporal CO menunjukkan kondisi ekstrim pada Oktober 2006 karena terjadi kebakaran hutan yang besar di wilayah Indonesia khususnya di Sumatera.

Gambar 1(c) memperlihatkan variasi temporal CH₄ di Indonesia dengan konsentrasi yang bervariasi antara 3,66 s.d. $3,77 \times 10^{18}$ molekul/cm². Variasi temporal CH₄ di Indonesia memperlihatkan terjadinya peningkatan konsentrasi dari tahun ke tahun khususnya dari tahun 2008 sampai 2014.



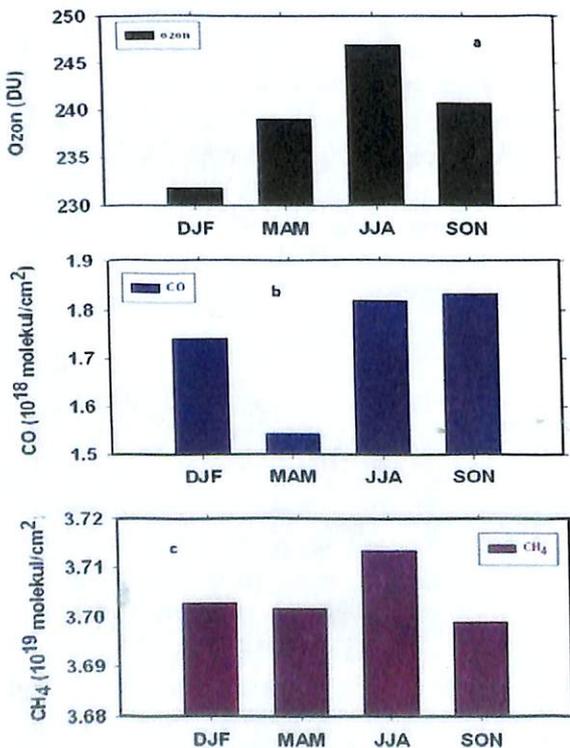
Gambar 1. Variasi temporal ozon (a), variasi temporal CO (b) dan variasi temporal CH₄ (c) di Indonesia dari tahun 2003 - 2014.

Variasi musiman ozon, CO dan CH₄ di Indonesia

Untuk memperoleh pola musiman komposisi atmosfer, dibuat pola rata-rata musiman 2003 sampai dengan 2013 untuk bulan-bulan

Desember Januari Februari (DJF), Maret April Mei (MAM), Juni Juli Agustus (JJA) dan September Oktober November (SON). Pada Gambar 2 disajikan variasi rata-rata musiman ozon, CO dan CH₄ di Indonesia dari tahun 2003-2014.

Analisis rata-rata variasi musiman ozon di Indonesia periode 2003 sampai dengan 2014 pada Gambar 2(a) menunjukkan bahwa ozon mencapai maksimum pada JJA (246,9 DU) dan minimum pada DJF (231,8 DU). Ozon menunjukkan maksimum pada bulan-bulan JJA terkait dengan konsentrasi uap air yang minimum pada bulan-bulan JJA (musim kering) sehingga pembentukan ozon akan maksimum. Minimumnya ozon pada bulan-bulan DJF terkait dengan melimpahnya konsentrasi uap air di atmosfer Indonesia yang mengakibatkan terjadinya perusakan ozon. Variasi musiman ozon di Indonesia sesuai dengan hasil Kaye, *et al.*⁴ yang menyatakan bahwa konsentrasi ozon total di wilayah tropis meningkat pada saat musim kemarau dan menurun saat musim hujan. Pada Gambar 2(b) dapat dilihat variasi musiman CO maksimum pada SON (1,83x10¹⁸ molekul/cm²) dan minimum pada MAM (1,74x10¹⁸ molekul/cm²).



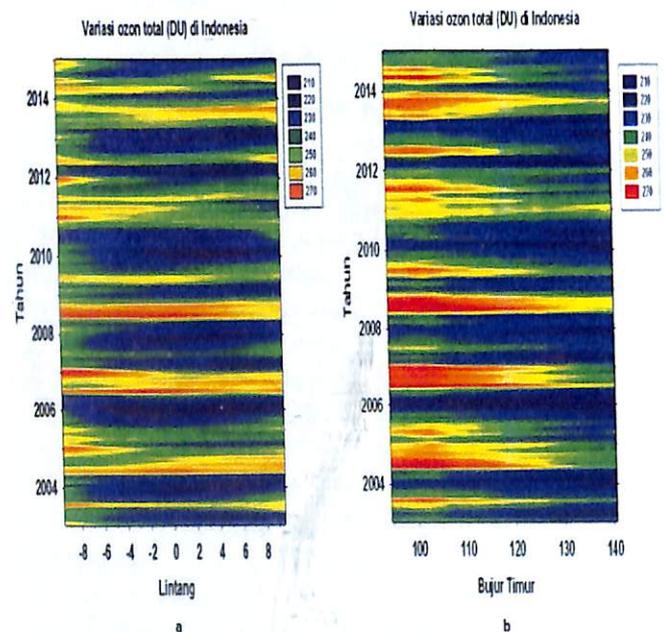
Gambar 2. Variasi rata-rata musiman ozon (a), CO (b) dan CH₄ (c) di Indonesia dari tahun 2003sd 2014

Pola CO yang selalu maksimum di musim tersebut terkait dengan peristiwa kekeringan

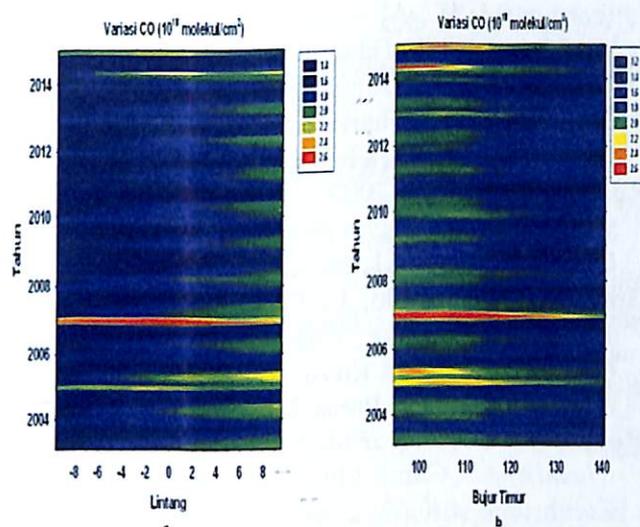
Untuk pola musiman, pola konsentrasi CO pada bulan SON lebih tinggi daripada pola CO pada musim lainnya khususnya pada tahun 2002, 2004 dan 2006. Variabilitas CO dengan nilai maksimum terjadi pada bulan Oktober 2006 akibat peristiwa kebakaran hutan hal ini menunjukkan bahwa variabilitas CO sangat dipengaruhi oleh pembakaran biomassa (kebakaran hutan).

Variasi musiman CH₄ di Indonesia pada 2003 sampai 2014 ditampilkan pada Gambar 3(c). CH₄ di Indonesia mencapai maksimum pada JJA (3,71x10¹⁹ molekul/cm²) dan minimum pada SON (3,69x10¹⁹ molekul/cm²). Variasi musiman CH₄ di Indonesia antara variasi musiman maksimum dan minimum perbedaannya tidak terlalu signifikan.

Dengan membuat diagram Hovmoller untuk ozon, CO dan CH₄, dapat diperoleh variasi ozon, CO dan CH₄ pada posisi lintang dan bujur Indonesia yang mengalami perubahan dengan berubahnya waktu. Pada Gambar 3 dapat dilihat diagram Hovmoller untuk variasi ozon di Indonesia. Distribusi konsentrasi ozon yang tinggi pada SON tahun 2006 dominan pada lintang dan bujur timur hampir seluruh wilayah Indonesia. Pada 2010 ozon yang rendah terdeteksi di hampir seluruh lintang dan bujur wilayah Indonesia.



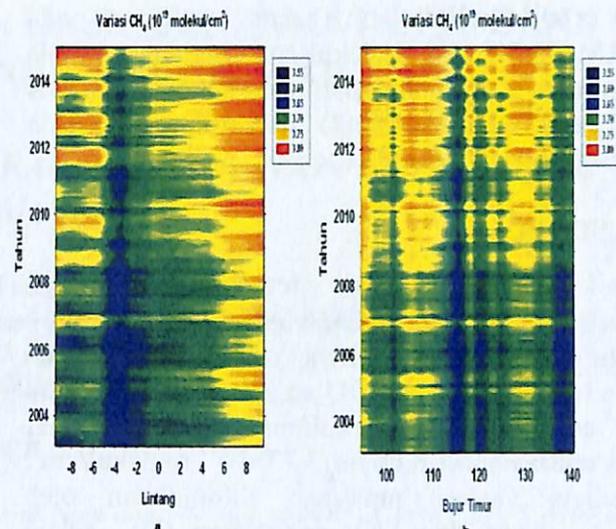
Gambar 3. Diagram Hovmoller ozon (DU) di Indonesia berdasarkan variasi Lintang (a) dan berdasarkan variasi Bujur Timur (b) dari tahun 2003 sd 2014 berbasis data AQUA AIRS.



Gambar 4. Diagram Hovmoller CO (10^{18} molekul/cm²) di Indonesia berdasarkan variasi Lintang (a) dan berdasarkan variasi Bujur Timur (b) dari tahun 2003 s.d. 2014 berbasis data AQUA AIRS.

Pada Gambar 4 dapat dilihat diagram Hovmoller untuk distribusi CO di Indonesia. Pada Gambar 4(a) konsentrasi CO paling dominan terjadi pada SON 2006 dan terdeteksi di hampir seluruh wilayah Indonesia. Pada tahun 2004 pada 3° Lintang Selatan hingga 0° dan 0° hingga 5° Lintang Selatan, serta 95°-120° Bujur Timur pada wilayah ini konsentrasi CO menunjukkan nilai yang tinggi. Posisi lintang dan bujur tersebut merupakan posisi Indonesia bagian barat khususnya Pulau Sumatera dan Kalimantan. Hal ini juga menunjukkan adanya kontribusi sangat besar dari kejadian kebakaran hutan dan kekeringan pada 2004 dan 2006 terhadap konsentrasi CO di hampir seluruh wilayah Indonesia.

Pada Gambar 5 dapat dilihat diagram Hovmoller distribusi CH₄ di Indonesia. Pada Gambar 5(a), berdasarkan variasi lintang CH₄ yang dominan tinggi sepanjang tahun adalah pada lintang 5 hingga 9° Lintang Utara dan 4 hingga 9.5° Lintang Selatan pada tahun 2007 hingga 2014. Sedangkan pada 1 hingga 4° Lintang Selatan relatif rendah sepanjang tahun. Pada Gambar 5(b) berdasarkan variasi bujur timur pada 94-95° bujur timur, 105-108° bujur timur dan 126-133° bujur timur menunjukkan konsentrasi CH₄ yang tinggi. Konsentrasi CH₄ yang relatif rendah terdeteksi pada 102 BT°, 114-116° BT dan 138-140° BT. Posisi lintang dan bujur dengan CH₄ tinggi tersebut merupakan posisi Indonesia bagian barat khususnya posisi Pulau Sumatera dan Kalimantan dan CH₄ rendah adalah di wilayah Papua.



Gambar 5 a. Diagram Hovmoller CH₄ (10^{19} molekul/cm²) di Indonesia berdasarkan variasi Lintang dan b. berdasarkan variasi Bujur Timur dari tahun 2003 sd 2014 berbasis data AQUA AIRS.

Analisis Statistik

Analisis statistik keterkaitan ozon dengan CO dan CH₄ di Indonesia berdasarkan data AQUA-AIRS periode 2003-2014 dilakukan dengan menggunakan analisis regresi. Hasil analisis regresi yang diperoleh:

$$\text{Ozon} = -77 + 89.1 \text{ CH}_4 - 7.79 \text{ CO}$$

Tabel 1. Hasil analisis statistik

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	-76.9	158.5	-0.49	0.628	
CH ₄	89.09	43.08	2.07	0.040	1.024
CO	-7.788	5.156	-1.51	0.133	1.024

Hasil analisis korelasi antara ozon dengan CO dan CH₄ menunjukkan bahwa CH₄ mempunyai P value lebih kecil dari 0,05 yaitu 0,040 yang mengartikan bahwa CH₄ mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap pembentukan ozon. Sedangkan CO mempunyai P value 0,133 atau lebih besar dari 0,05 menunjukkan bahwa CO kurang signifikan pengaruhnya terhadap pembentukan ozon.

Data parameter atmosfer Indonesia dari data AQUA-AIRS tahun 2003-2014 yang di analisis adalah ozon, CO dan CH₄. Hasil analisis menunjukkan secara temporal komposisi kimia atmosfer di Indonesia mempunyai pola musiman dan tendensi peningkatan walaupun periode maksimum dan minimumnya mempunyai perbedaan waktu.

Variasi musiman ozon mencapai maksimum pada JJA (246,9 DU) dan minimum pada DJF (231,8 DU). CO maksimum pada SON

($1,83 \times 10^{18}$ molekul/cm²) dan minimum pada MAM ($1,74 \times 10^{18}$ molekul/cm²) sedangkan pola musiman CH₄ mencapai maksimum pada JJA ($3,71 \times 10^{19}$ molekul/cm²) dan minimum pada SON ($3,69 \times 10^{19}$ molekul/cm²).

KESIMPULAN

Hasil analisis variasi temporal komposisi atmosfer dari data AQUA-AIRS 2003 – 2014 memberikan hasil bahwa ozon di Indonesia bervariasi antara 215 DU sd 271 DU. CO antara 1,5 sd $2,9 \times 10^{18}$ molekul/cm² sedangkan CH₄ bervariasi antara 3,66 sd $3,77 \times 10^{19}$ molekul/cm². Analisis variasi musiman ditunjukkan oleh variasi ozon dan CO, sedangkan CH₄ selain menunjukkan variasi musiman juga menunjukkan trend peningkatan konsentrasi dari tahun ke tahun. Analisis variasi musiman ozon mencapai maksimum pada bulan-bulan JJA (246,9 DU) dan minimum pada DJF (231,8 DU). CO maksimum pada SON ($1,83 \times 10^{18}$ molekul/cm²) dan minimum pada MAM ($1,74 \times 10^{18}$ molekul/cm²) sedangkan pola musiman CH₄ mencapai maksimum pada JJA ($3,71 \times 10^{19}$ molekul/cm²) dan minimum pada SON ($3,69 \times 10^{19}$ molekul/cm²).

UCAPAN TERIMA KASIH

Mengucapkan terima kasih kepada para ilmuwan NASA dan para PI yang telah menyiapkan data dalam Giovanni.

Daftar Pustaka

- ¹Vogel B., Muller R., A. Engel, J.-U. Groö, D. Toohey, T. Woyke, and F. Stroh, (2005), *Midlatitude CIO During the Maximum Atmospheric Chlorine Burden: In Situ Balloon Measurements and Model Simulations*, Atmos. Chem. Phys., 5, 1623–1638..
- ²WMO (World Meteorological Organization), *Scientific assessment of ozone depletion* (2011), Rep. 52, Global Ozone Res. and Monit. Proj., 516 pp., Geneva, Switzerland.
- ³Stolarski R. S., Douglass, A.R., Steenrod, S., Pawso, S., 2005. *Trend in stratospheric ozone*. Journal of the Atmospheric Science, vol 83, pp 1028-1040.
- ⁴Kaye, et al., 1993. *Stratospheric Ozone Change*. Global Atmospheric Chemical Change, Chapman and Hill, New York, pp 125-126, 138.
- ⁵Pidwirny, M., 2006. *Atmospheric Composition*. Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition.

⁶Makarova, M. V., A. V., Poborovskii and Yu M Timoteev., 2004. *Temporal Variation of Total Atmospheric CO over St Petersburg*, *Izvestiya*. Atmospheric and Oceanic Physics vol 40, No. 3, pp. 313-322..

⁷Ruddiman, W.F., 2003. *The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago*, Climatic Change 61, 261-293.

⁸Brasseur, G., Orlando, J., Tyndall, G. (Editors), 1999. *Atmospheric Chemistry and Global Change*. Topics in Environmental Chemistry. Oxford University Press, New York, 654 pp.

⁹Hobbs, P., 2000. *Introduction to Atmospheric Chemistry*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 262 pp..

¹⁰Atmospheric Infra Red Sounder Broshures, http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/AIRS/documentat ion/AIRS_brochure.pdf.

¹¹J.G. Ackerand, S.G. Leptoukh, 2007. *Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data*. Eos. Trans. AGU. Vol. 88, No.2, pages 14 and 17.