

PENELITIAN VARIABILITAS OZON, CO, CH₄ DAN UAP AIR DI PROVINSI RIAU BERBASIS DATA SATELIT AQUA-AIRS

Ninong Komala

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer - LAPAN

Email : ninongk@yahoo.com; ninong.komala@lapan.go.id

ABSTRAK

Penelitian kimia atmosfer berbasis satelit merupakan hal penting karena dapat mencakup wilayah penelitian yang luas dalam jangka panjang yang sulit dilakukan bila menggunakan penelitian langsung. Fokus penelitian adalah variabilitas komposisi atmosfer khususnya kolom/lapisan ozon, CO, CH₄ dan uap air di Provinsi Riau berbasis data satelit AQUA-AIRS dengan tujuan untuk memahami karakteristik serta pola musiman kolom ozon, CO, CH₄ dan uap air di Provinsi Riau tahun 2003 sampai Februari 2016. Metodologi penelitian dilakukan dengan inventori data harian parameter kimia atmosfer Provinsi Riau, perata-rataan bulanan dan metoda statistik untuk memperoleh korelasi antara parameter yang diteliti. Hasil penelitian di Provinsi Riau menunjukkan ozon pada tahun 2010 lebih rendah dibanding dengan tahun lainnya. Uap air tertinggi terjadi pada tahun 2010. Puncak CO tahun 2006 dan tahun 2015 jauh lebih besar terkait dengan kebakaran hutan. CH₄ mempunyai tendensi adanya peningkatan yang terus menerus. Kolom ozon, CO, CH₄ dan uap air masing-masing mempunyai pola musiman. Ozon dengan uap air mempunyai korelasi negatif khususnya pada bulan-bulan September, Oktober November (SON) dengan koefisien korelasi 0,756. CO dengan uap air pada bulan-bulan SON juga mempunyai korelasi negatif dengan koefisien korelasi 0,626. CO dengan ozon pada bulan-bulan SON mempunyai korelasi positif dengan koefisien korelasi 0,713. Pemantauan jangka panjang komposisi kimia atmosfer Provinsi Riau bermanfaat untuk mengantisipasi kenaikan konsentrasi parameter atmosfer yang pada umumnya berdampak negatif terhadap lingkungan dan umat manusia.

Kata kunci: AQUA-AIRS, kimia atmosfer, Provinsi Riau

ABSTRACT

Satellite-based atmospheric chemistry research is important to be done because it can cover an area for long term period which is difficult to do when using in situ observation. The focus of research is the variability of the composition of the atmosphere in Riau Province based on AQUA-AIRS satellite data, especially columns/layer of ozone, CO, CH₄ and water vapor in order to understand the characteristics and seasonal patterns of ozone, CO, CH₄ and water vapor column in Riau Province in 2003 to February 2016. The research methodology conducted the inventory daily data of atmospheric chemistry parameters Riau Province, averaging monthly and statistical methods to obtain the correlation between the parameters investigated. Results of the study showed that ozone in Riau Province in 2010 is lower compared to other years. The highest water vapor occurred in 2010. The peak of CO in 2006 and 2015 show larger was investigated related to the larger forest fires in that time. CH₄ has a tendency their continuous increase. Column of ozone, CO, CH₄ and water vapor each are having a seasonal pattern. Water vapor and ozone has a negative correlation, especially in the months of September, October November (SON) with a correlation coefficient of 0.756. CO with water vapor in the months of SON also has a negative correlation with the correlation coefficient 0.626. CO with ozone in the months of SON positively correlated with the correlation coefficient 0.713. Long term monitoring of atmospheric composition in Riau

Province will useful for its extreme increase which is usually have negative impact to human and environment.

Keywords: AQUA-AIRS, atmospheric chemistry, Riau Province

PENDAHULUAN

Ozon di atmosfer sekitar 97% terkonsentrasi di stratosfer pada ketinggian 15 sampai 55 kilometer di atas permukaan bumi. Ozon stratosfer berperan sangat penting untuk kehidupan di bumi karena menyerap radiasi ultraviolet yang berbahaya. Sejak akhir tahun 1970-an, tingkat ozon stratosfer telah menurun karena aktivitas antropogenik berupa pelepasan kloro fluoro karbon (CFC) ke atmosfer. 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 [Vogel, *et.al.*, 2005; WMO, 2011]. 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 [Kaye, *et.al.*, 1993].

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 [Pidwirny, 2005]. 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. 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 perusakan ozon. Pada kondisi daerah yang terpolusi, nitrogen oksida dapat menjadi penyebab terurainya CO yang memicu pembentukan CO₂ dan ozon [Makarova *et al.*, 2004].

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). CH₄ juga memiliki waktu tinggal di atmosfer jauh lebih pendek daripada CO₂. Waktu tinggal untuk CH₄ kira-kira 10 tahun. 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 [Pidwirny, 2006]. Konsentrasi CH₄ mengalami peningkatan karena aktivitas antropogenik termasuk pertanian, pembakaran biomassa, tambang batubara. Aktivitas antropogenik ini sangat signifikan mempengaruhi budget CH₄ secara global [Ruddiman, 2003]. Perubahan konsentrasi CH₄ juga akan berpengaruh terhadap produksi ozon di troposfer

[Brasseur, et al., 1999]. Oksidasi CH_4 oleh OH juga merupakan sumber utama CO dan formaldehid di troposfer [Hobb, 2000].

Uap air adalah komponen penting dari sistem iklim bumi. Uap air merupakan gas rumah kaca utama yang menyebabkan panas terjebak di atmosfer lebih banyak dari karbon dioksida. Gerakan uap air dan panas laten terkait penguapan, juga berperan dalam 50% transportasi panas dari daerah tropis ke kutub. Pergerakan uap air juga penting untuk menentukan jumlah curah hujan yang diterima di suatu daerah. Total kolom uap air adalah ukuran dari total uap air yang berbentuk gas yang terkandung dalam kolom vertikal atmosfer. Ketika diukur dalam satuan linear (milimeter, mm), kolom uap air adalah ketinggian (atau kedalaman) air yang menempati jika uap yang terkondensasi menjadi cair dan tersebar merata di seluruh kolom. Jika tren peningkatan uap air ini berlanjut, akan dapat mempengaruhi pemulihan ozon stratosfer. Keberadaan uap air di atmosfer yang merupakan gas rumah kaca utama perlu dipantau dan diteliti untuk mengantisipasi terjadinya peningkatan suhu permukaan yang berkelanjutan. (Shindell, 2001).

Penelitian komposisi atmosfer provinsi Riau berbasis data satelit sangat bermanfaat untuk memperoleh karakteristik komposisi atmosfer seperti ozon, CO, CH_4 , uap air dan parameter atmosfer lainnya. Hasil penelitian parameter atmosfer dalam jangka panjang sangat berguna untuk menentukan variabilitas dan karakteristik parameter atmosfer mulai dari variasi harian, bulanan, musiman, tahunan maupun perubahan kondisi komposisi atmosfer dalam jangka panjang.

METODE PENELITIAN

Instrumen Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) yang dikembangkan oleh BAE Systems untuk NASA/JPL adalah instrumen pemindai lacak-silang yang dipasang pada satelit AQUA. Cermin pemindai yang dipasang pada instrumen ini berputar pada sumbu yang sejajar dengan lintasan penerbangan satelit dan mengarahkan energi infra merah yang diemisikan dari bumi ke instrumen. Pada saat wahana bergerak, cermin ini membaca dengan cepat petak-petak area selebar kira-kira 800 km sebelah menyebelah lintasan yang dilacak. Didalam instrumen AIRS, energi infra-merah ini kemudian dipilah-pilah sesuai dengan panjang gelombangnya. Informasi ini kemudian diteruskan dari AIRS ke satelit AQUA yang kemudian meneruskan informasi ini ke stasiun pengamat / bumi. Istilah "sounder" pada instrumen ini mengacu pada kenyataan bahwa suhu dan uap air diukur sebagai fungsi dari ketinggian. AIRS juga mengukur awan, konsentrasi gas telusur/*trace gases* di atmosfer termasuk ozon, karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4) dan sulfur dioksida. AIRS juga mendeteksi kandungan partikel debu di atmosfer. Produk data yang dihasilkan oleh AIRS diantaranya produk suhu atmosfer, kelembapan, awan, produk ozon (profil vertikal ozon dan ozon total), gas telusur (CH_4 dan CO) serta produk seperti suhu permukaan laut dan suhu permukaan tanah.

Penelitian dilakukan dengan melakukan inventori data kolom ozon, CO, CH_4 dan uap air berbasis data satelit sensor Atmospheric Infra Red Sounders (AIRS) pada satelit AQUA tahun 2003 sampai dengan Maret 2016. Data yang diperoleh merupakan data global rata-rata harian dengan grid 1° lintang x 1° bujur. Periode data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dari tahun 2003 sampai dengan Maret 2016 [<http://acdisx.gsfc.nasa.gov/data/>].

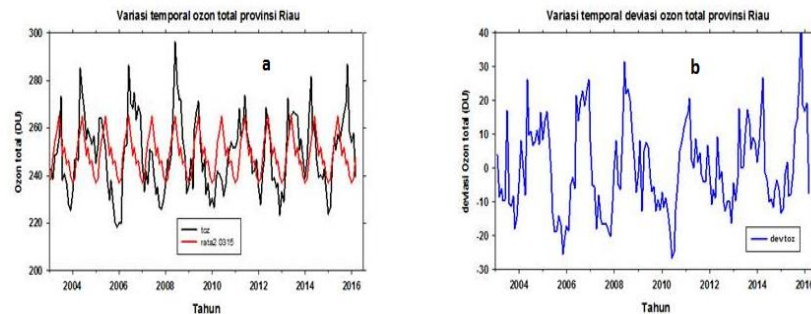
Metodologi penelitian yang dilakukan adalah melakukan ekstraksi data ozon, CO, CH_4 dan uap air untuk wilayah Provinsi Riau ($1^\circ \text{LU} - 2^\circ \text{LS}$ dan $100^\circ \text{BT} - 105^\circ \text{BT}$) dari data AQUA-AIRS global dalam format nc untuk periode 2003 sampai dengan Maret 2016. Dilakukan

konversi data dari NetCDF (Network Common Data Form) format untuk data ozon, CO, CH₄ dan uap air menggunakan HDF view dan EXCELL. Kemudian dilakukan pengolahan data dengan membuat analisis variasi temporal untuk ozon, CO dan CH₄ dan uap air kemudian ditentukan pola variasi tahunan dan musiman untuk setiap parameter. Dilakukan pula analisis keterkaitan ozon dengan CO dan uap air yang akan menjelaskan pengaruh CO, CH₄ dan uap air terhadap ozon.

HASIL

Variabilitas ozon

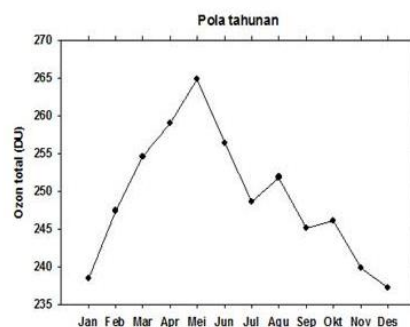
Variasi temporal ozon untuk wilayah Provinsi Riau dari data AQUA-AIRS dapat memberikan gambaran karakter ozon berupa pola tahunan, musiman, dan variasinya dari tahun ke tahun. Pada Gambar 1a. ditampilkan variasi temporal ozon Provinsi Riau dari data AQUA AIRS dari tahun 2003 sampai dengan Maret 2016. Variasi temporal ozon di provinsi Riau bervariasi antara 220 DU sampai dengan 296 DU. Konsentrasi ozon yang rendah terjadi pada tahun 2005, 2007 dan 2010.



Gambar 1 a. Variasi temporal ozon total tahun 2003 sampai dengan maret 2016, b. deviasi ozon total terhadap konsentrasi rata-rata 2003 sampai dengan 2015.

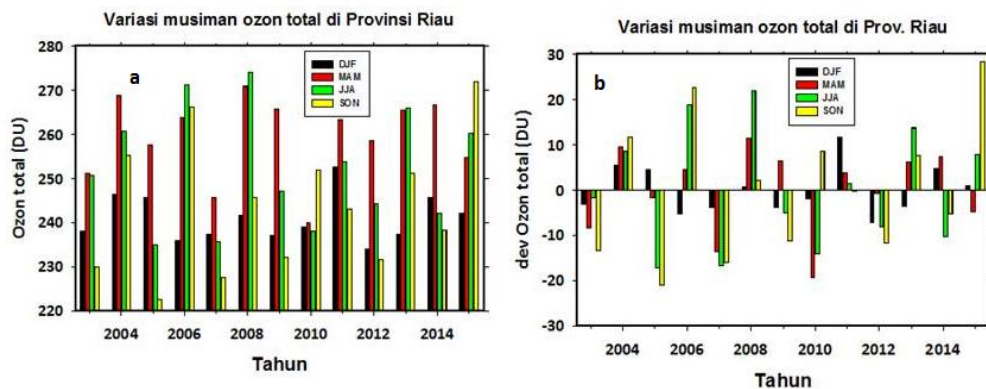
Pada Gambar 1b yang menampilkan deviasi ozon total terhadap konsentrasi rata-rata 2003 sampai 2015, deviasi ozon total bervariasi antara -30 DU sampai dengan 40 DU. Nilai deviasi negatif menunjukkan nilai ozon yang lebih kecil dari nilai ozon total rata-rata dan deviasi positif menunjukkan nilai ozon total yang lebih besar dibandingkan nilai rata-rata 2003 sampai 2015. Deviasi ozon total dengan nilai negatif tertinggi terjadi pada tahun 2005, 2007 dan 2010, sedangkan nilai deviasi ozon total dengan nilai positif tertinggi terjadi pada tahun 2015.

Ozon total di provinsi Riau mempunyai pola tahunan seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Pola tahunan ozon total di Provinsi Riau mencapai maksimum pada bulan Mei dan minimum pada Desember.



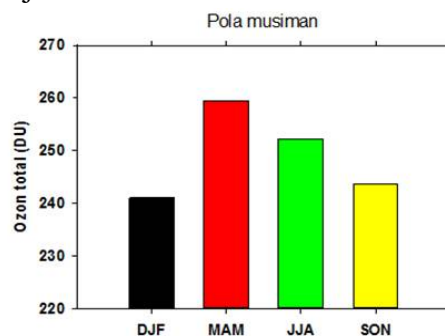
Gambar 2. Pola tahunan ozon total provinsi Riau

Untuk memperoleh pola musiman ozon total, dibuat pola rata-rata musiman 2003 sampai dengan Maret 2016 untuk bulan-bulan Desember, Januari, Februari (DJF), Maret, April Mei (MAM), Juni, Juli, Agustus (JJA) dan September, Oktober, November (SON). Pada Gambar 3a. disajikan variasi musiman ozon di Provinsi Riau. Pola musiman ozon total di Provinsi Riau bervariasi antara 220 DU sampai dengan 275 DU. Pola musiman 2005 dan 2010 lebih kecil dibandingkan dengan tahun yang lain sedangkan tahun 2006, 2008 dan 2015 lebih tinggi. Pada gambar 3b dapat dilihat deviasi variasi musiman ozon di Provinsi Riau. Deviasi total ozon bervariasi antara -20 DU sampai dengan 30 DU. Deviasi ozon musiman 2005, 2007 dan 2010 memperlihatkan deviasi negatif lebih besar, sedangkan deviasi variasi musiman tahun 2006, 2008 dan 2015 menunjukkan nilai deviasi positif yang tinggi.



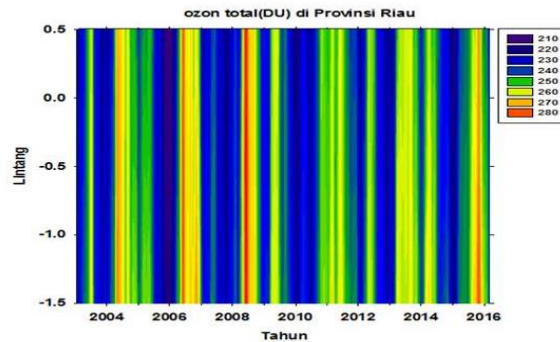
Gambar 3 a. Variasi musiman ozon total di Provinsi Riau dan b. Deviasi variasi musiman ozon total.

Analisis rata-rata variasi musiman ozon di Provinsi Riau periode 2003 sampai dengan Maret 2016 pada Gambar 4 menunjukkan bahwa Pola musiman ozon total rata-rata mencapai maksimum pada bulan-bulan MAM dan minimum pada DJF. Ozon minimum pada bulan-bulan DJF terkait dengan melimpahnya konsentrasi uap air di atmosfer Provinsi Riau yang mengakibatkan terjadinya perusakan ozon. Variasi musiman ozon di Provinsi Riau sesuai dengan hasil Kaye, et al, [1993] yang menyatakan bahwa konsentrasi ozon total di wilayah tropis menurun saat musim hujan.



Gambar 4. Pola musiman ozon total rata-rata

Pola variasi zonal ozon total di Provinsi Riau dapat dilihat pada gambar 5. Variasi zonal Ozon total provinsi Riau 2003 sampai dengan Maret 2016 bervariasi antara 210 DU sampai dengan 280 DU. Variasi zonal ozon total tahun 2004, 2008 dan 2015 lebih tinggi.

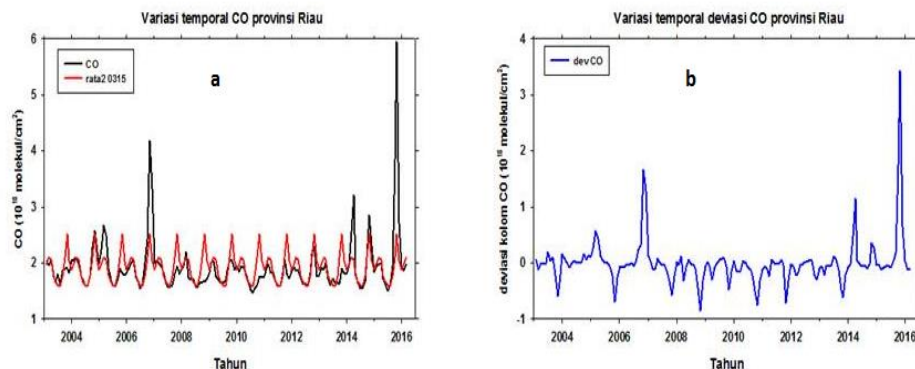


Gambar 5. Variasi zonal Ozon total provinsi Riau 2003 sampai dengan Mar 2016

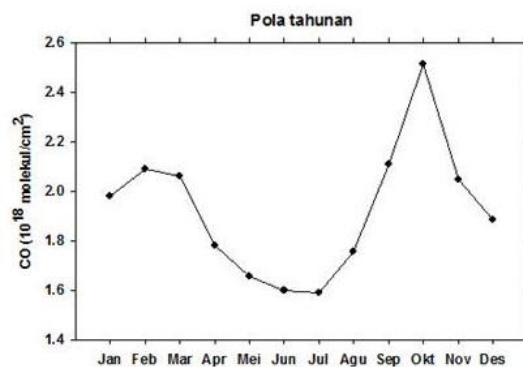
Variabilitas CO, CH₄ dan uap air.

Analisis untuk CO, CH₄ dan uap air untuk wilayah Provinsi Riau dari data AQUA-AIRS dianalisis dengan cara yang sama seperti untuk ozon total.

Pada Gambar 6a di ditampilkan variasi temporal kolom CO provinsi Riau 2003 sampai dengan Maret 2016. Kolom CO bervariasi antara $1,5 \cdot 10^{18}$ molekul/cm² sampai dengan $\sim 6 \cdot 10^{18}$ molekul/cm². Kolom CO terendah terdeteksi pada pada Juli 2010 dan kolom CO tertinggi terdeteksi pada Oktober 2015. Pola tahunan kolom CO pada tahun 2010 terdeteksi lebih rendah dan pola tahunan tertinggi terjadi pada tahun 2015. Pada Gambar 6b ditampilkan deviasi kolom CO terhadap rata-rata 2003 sd 2015. Nilai deviasi antara $-1 \cdot 10^{18}$ molekul/cm² sd $3,5 \cdot 10^{18}$ molekul/cm². Deviasi positif tertinggi terjadi pada bulan Oktober 2015.



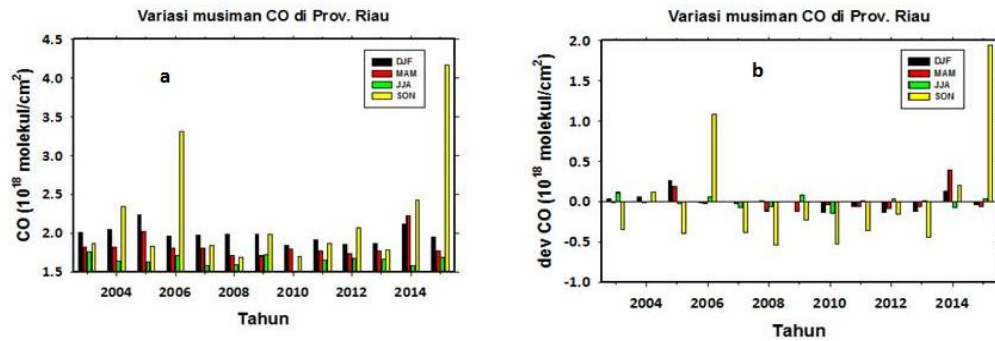
Gambar 6 a. Variasi temporal kolom CO provinsi Riau 2003 sampai dengan Maret 2016 dan b. deviasi kolom CO terhadap konsentrasi rata-rata 2003 sampai dengan 2015.



Gambar 7. Pola tahunan kolom CO provinsi Riau

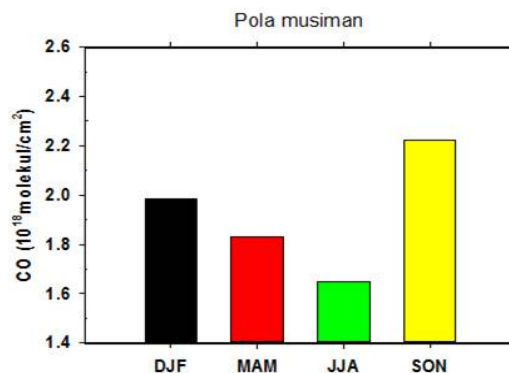
Pola tahunan kolom CO mencapai maksimum pada bulan Oktober dan minimum terdeteksi pada bulan Juli seperti ditampilkan pada Gambar 7.

Pada Gambar 8a dapat dilihat pola musiman kolom CO di provinsi Riau. Kolom CO bervariasi antara $1,5 \cdot 10^{18}$ molekul/cm² sampai dengan $4,2 \cdot 10^{18}$ molekul/cm². Pola musiman kolom CO tahun 2005 dan 2010 lebih rendah dibandingkan dengan tahun yang lain sedangkan pola musiman tahun 2006 dan 2015 lebih tinggi khususnya pada bulan-bulan SON.



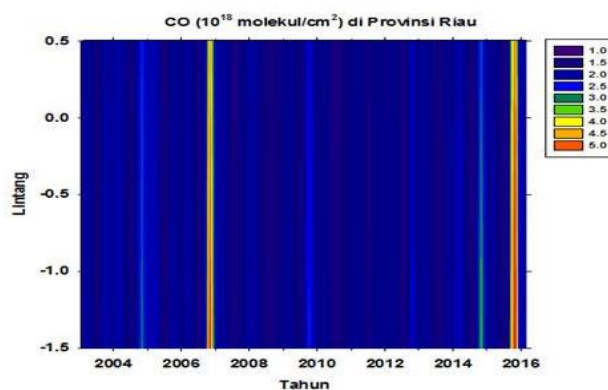
Gambar 8 a. Variasi musiman kolom CO di Provinsi Riau dan b. Deviasi variasi musiman kolom CO

Pada Gambar 8b menunjukkan deviasi pola musiman kolom CO yang bervariasi antara $-0,5 \cdot 10^{18}$ molekul/cm² sampai dengan $2 \cdot 10^{18}$ molekul/cm². Deviasi positif kolom CO yang mencolok terjadi pada pola musiman tahun 2006 dan 2015 khususnya pada SON 2006 dan SON tahun 2015.



Gambar 9. Pola musiman kolom CO rata-rata

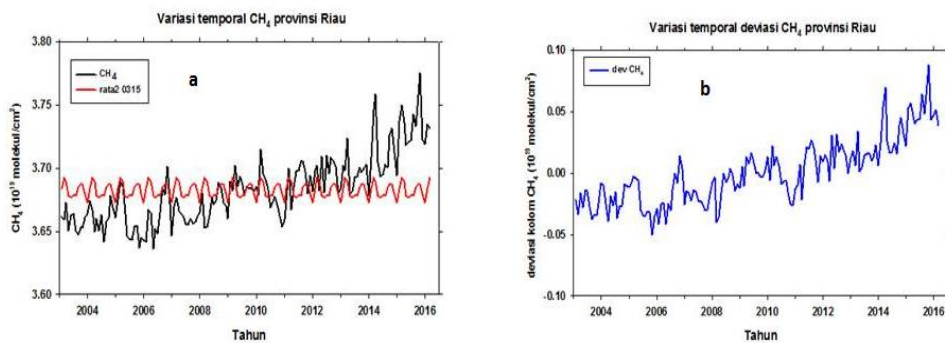
Pada Gambar 9 dapat dilihat pola musiman kolom CO rata-rata provinsi Riau yang mencapai maksimum pada bulan-bulan SON dan minimum pada JJA.



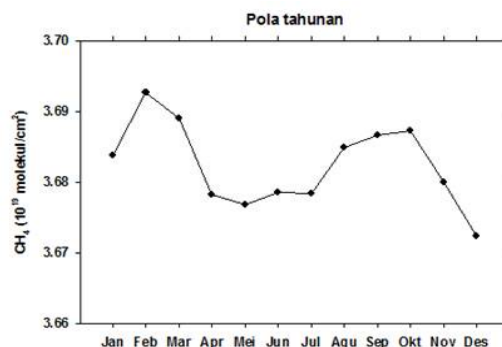
Gambar 10. Variasi zonal kolom CO provinsi Riau 2003 sampai dengan Maret 2016

Variasi zonal kolom CO provinsi Riau tahun 2003 sampai Maret 2016 dapat dilihat pada Gambar 10 yang menunjukkan variasi kolom CO antara $1 \cdot 10^{18}$ molekul/cm² sd $5 \cdot 10^{18}$ molekul/cm². Variasi zonal tahun 2006 dan 2015 kolom CO di provinsi Riau lebih tinggi.

Pada Gambar 11a, diperlihatkan variasi temporal CH₄ di Provinsi Riau dengan konsentrasi yang bervariasi antara $3,66 \cdot 10^{19}$ molekul/cm² sampai dengan $3,77 \cdot 10^{19}$ molekul/cm². Variasi temporal CH₄ di Provinsi Riau memperlihatkan terjadinya peningkatan konsentrasi dari tahun ke tahun khususnya mulai dari tahun 2008. Kolom CH₄ terendah terdeteksi pada April 2010 dan tertinggi pada Oktober 2015. Gambar 11b. menampilkan deviasi kolom CH₄ terhadap rata-rata 2003 sampai dengan 2015 dengan nilai deviasi $-0,5 \cdot 10^{19}$ molekul/cm² sd $1,9 \cdot 10^{19}$ molekul/cm². Pola tahunan tertinggi terjadi pada 2015 dengan deviasi $\sim 1,9 \cdot 10^{19}$ molekul/cm² yang terjadi pada bulan Oktober.



Gambar 11 a. Variasi temporal kolom CH₄ provinsi Riau 2003 sampai dengan Maret 2016 dan b. deviasi kolom CH₄ terhadap konsentrasi rata-rata 2003 sampai dengan 2015.

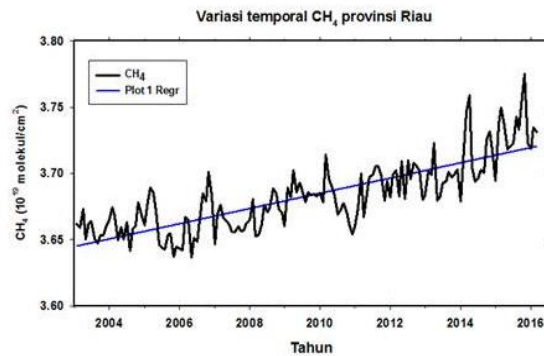


Gambar 12. Pola tahunan kolom CH₄ provinsi Riau

Pola tahunan kolom CH₄ mencapai maksimum pada bulan Februari dan minimum pada bulan Desember seperti ditampilkan pada Gambar 12.

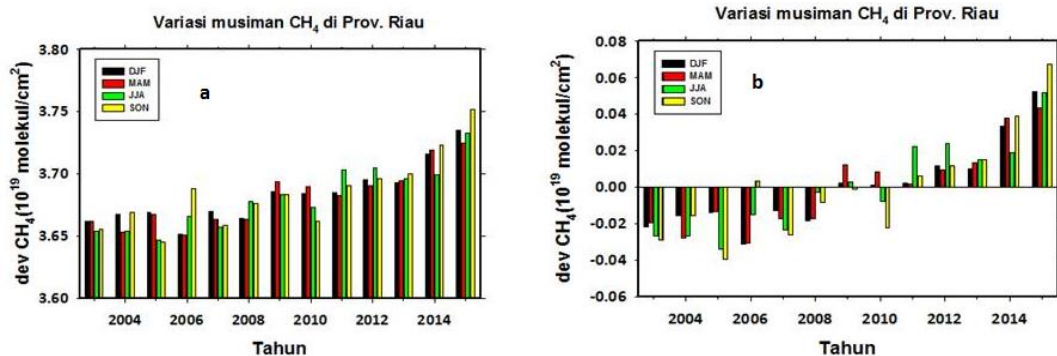
Gambar 13 a. pola musiman kolom CH₄ di provinsi Riau bervariasi antara $3,64 \cdot 10^{19}$ molekul/cm² sampai dengan $3,76 \cdot 10^{19}$ molekul/cm². Pola musiman kolom CH₄ tahun 2005 lebih rendah dibandingkan dengan tahun yang lain sedangkan pola musiman tahun 2011 sampai saat ini terjadi peningkatan yang terus menerus.

Kenaikan kolom CH₄ yang terus menerus di provinsi Riau diperlihatkan pada Gambar 14. Kenaikan kolom CH₄ di provinsi Riau terhadap waktu menghasilkan persamaan : dengan koefisien $b[0] -7,8828498691$, $b[1] 5,7552322569e-3$ dengan $R^2 = 0,6444770788$. CH₄ di provinsi Riau mempunyai tendensi peningkatan yang linier dengan koefisien korelasi 0,80.



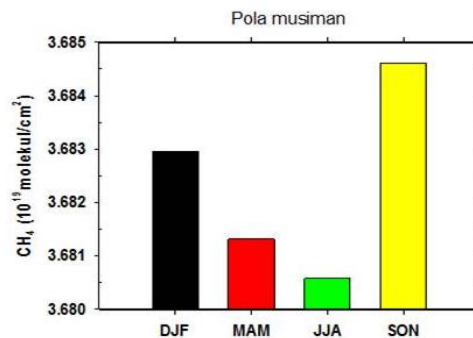
Gambar 14. Kenaikan kolom CH₄ di Provinsi Riau

Pola musiman kolom CH₄ di provinsi Riau bervariasi dari $3,4 \cdot 10^{19}$ molekul/cm² sampai dengan $3,76 \cdot 10^{19}$ molekul/cm², terdeteksi pula pola musiman kolom CH₄ pada tahun 2005 lebih rendah seperti ditampilkan pada gambar 15a. Pada gambar 15b, ditampilkan deviasi variasi musiman kolom CH₄. Dapat dilihat kolom CH₄ di provinsi Riau deviasi negatif terbesar pada tahun 2005 dan positif terbesar pada tahun 2015.



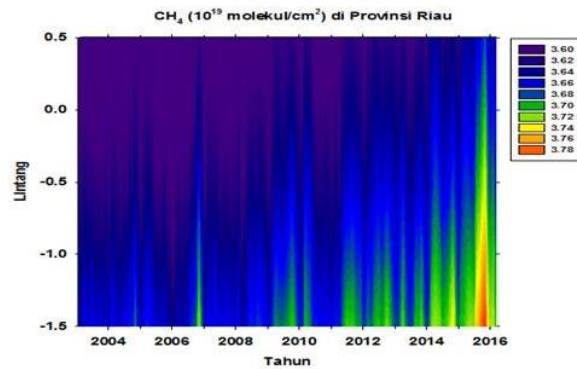
Gambar 15 a. Variasi musiman kolom CH₄ di Provinsi Riau dan b. Deviasi variasi musiman kolom CH₄.

Pada Gambar 16 ditampilkan pola musiman kolom CH₄ rata-rata di provinsi Riau yang mencapai maksimum pada bulan-bulan SON dan minimum pada JJA



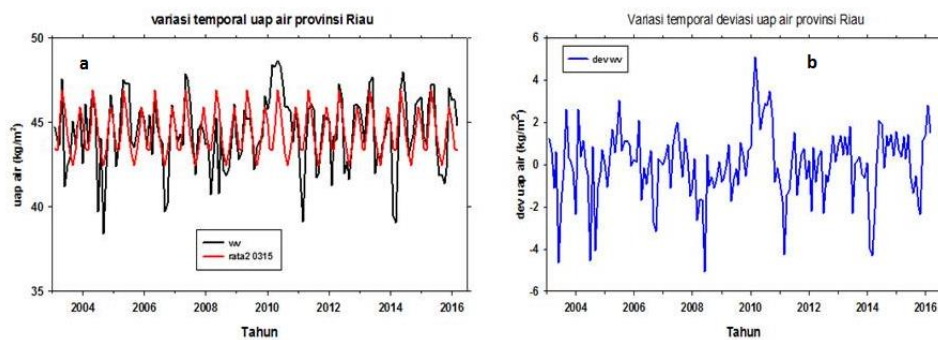
Gambar 16. Pola musiman kolom CH₄ rata-rata

Variasi zonal kolom CH₄ provinsi Riau tahun 2003 sampai dengan Mar 2016 ditampilkan pada gambar 17. Variasi kolom CH₄ antara $3,6 \cdot 10^{19}$ molekul/cm² sampai dengan $3,78 \cdot 10^{19}$ molekul/cm². Variasi zonal kolom CH₄ pada tahun 2015 terdeteksi paling tinggi.



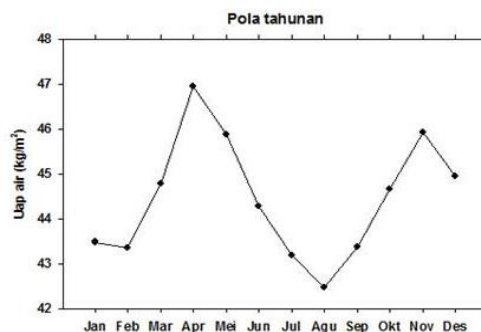
Gambar 17. Variasi zonal kolom CH_4 provinsi Riau 2003 sampai dengan Maret 2016

Variasi temporal kolom uap air di provinsi Riau ditampilkan pada Gambar 18a. Kolom uap air bervariasi antara 38 kg/m^2 sampai dengan $\sim 49 \text{ kg/m}^2$. Pola tahunan kolom uap air tahun 2004, 2006 terdeteksi lebih rendah dan pola tahunan 2010 tertinggi. Kolom uap air terendah terdeteksi pada bulan Agustus 2004 dan tertinggi pada April 2010. Deviasi kolom uap air ditampilkan pada Gambar 18b dengan range -5 kg/m^2 sampai dengan 5 kg/m^2 , deviasi positif tertinggi terjadi pada pola tahunan 2010 dengan deviasi 5 kg/m^2 pada bulan Februari.



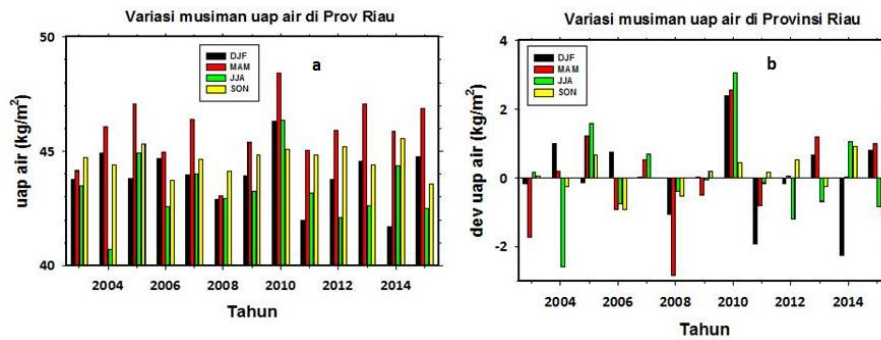
Gambar 18 a. Variasi temporal kolom uap air provinsi Riau 2003 sampai dengan Maret 2016 dan b. deviasi kolom uap air terhadap konsentrasi rata-rata 2003 sampai dengan 2015.

Pola tahunan kolom uap air di provinsi Riau mencapai maksimum pada bulan April dan minimum pada bulan Agustus seperti ditampilkan pada Gambar 19.



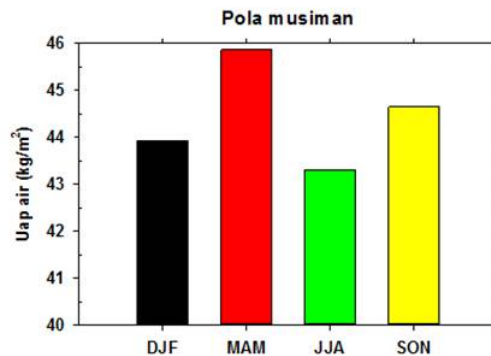
Gambar 19. Pola tahunan kolom uap air provinsi Riau

Pola variasi musiman kolom uap air yang ditampilkan pada Gambar 20, di provinsi Riau kolom uap air bervariasi antara 41 kg/m^2 sampai dengan $\sim 48 \text{ kg/m}^2$. Pola musiman tahun 2004 paling rendah dan tahun 2010 paling tinggi.



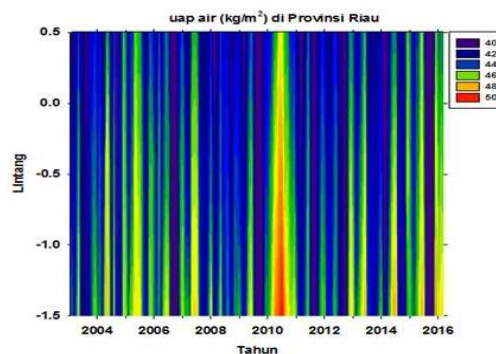
Gambar 21 a. Variasi musiman kolom uap air di Provinsi Riau dan b. Deviasi variasi musiman kolom uap air.

Pada Gambar 22 ditampilkan pola musiman kolom uap air rata-rata di provinsi Riau yang mencapai maksimum pada bulan-bulan MAM dan minimum pada JJA.



Gambar 22. Pola musiman kolom uap air rata-rata

Variasi zonal kolom uap air provinsi Riau pada 2003 sampai Maret 2016 memeperlihatkan kolom uap air yang bervariasi antara 40 kg/m^2 sampai dengan $\sim 50 \text{ kg/m}^2$. Variasi zonal tahun 2010 menunjukkan kolom uap air yang paling tinggi yang ditampilkan pada Gambar 23.

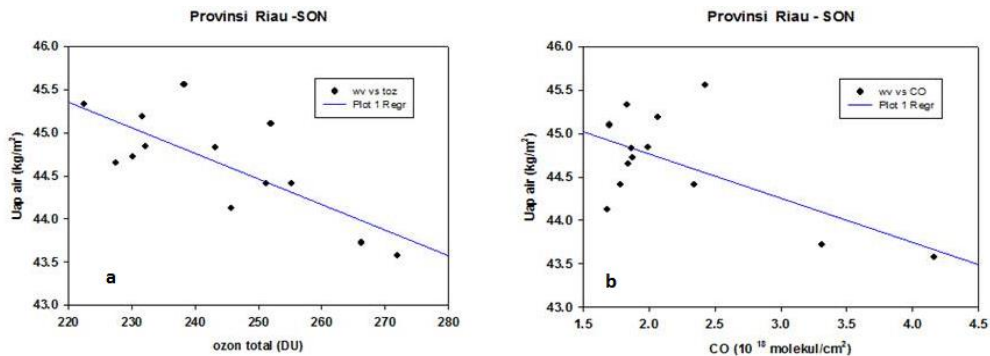


Gambar 23. Variasi zonal kolom uap air provinsi Riau 2003 sampai dengan Maret 2016

Keterkaitan ozon total dengan kolom CO dan kolom uap air

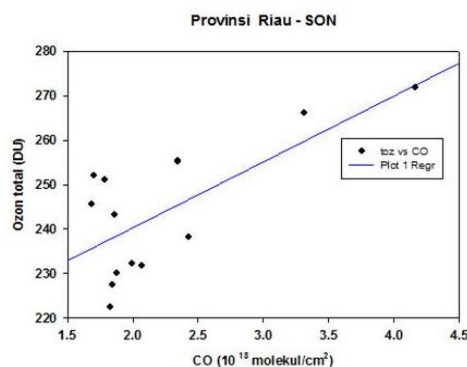
Keterkaitan variasi musiman ozon total dengan uap air di provinsi Riau menunjukkan adanya korelasi negatif seperti ditampilkan pada Gambar 24a. Bila semakin tinggi kolom uap air maka akan semakin rendah kolom ozon dan sebaliknya. Persamaan yang dihasilkan dari keterkaitan tersebut adalah koefisien $b[0] = 51.8813596294$, $b[1] = -0.0296699364$, dengan $R^2 = 0.5727165037$ dan $r = -0.756$.

Keterkaitan variasi musiman CO dengan uap air di provinsi Riau juga menunjukkan adanya korelasi negatif seperti ditampilkan pada Gambar 24b. Bila semakin tinggi kolom uap air maka akan semakin rendah kolom CO dan sebaliknya. Persamaan yang dihasilkan dari keterkaitan tersebut adalah koefisien $b[0] = 45.7870477296$, $b[1] = -0.5108849013$, dengan $R^2 = 0.3929019294$ dan $r = -0.626$.



Gambar 24. a. Keterkaitan ozon total dengan kolom uap air dan b. keterkaitan kolom CO dengan kolom uap air pada SON di provinsi Riau.

Keterkaitan variasi musiman ozon total dengan kolom CO di provinsi Riau menunjukkan adanya korelasi positif seperti ditampilkan pada Gambar 25. Bila semakin tinggi ozon total maka akan semakin tinggi pula kolom CO dan sebaliknya. Persamaan yang dihasilkan dari keterkaitan tersebut adalah koefisien $b[0] = 210.7055928319$, $b[1] = 14.833863269$ dengan $R^2 = 0.5091433821$ dan $r = 0.713$



Gambar 25. Keterkaitan ozon total dengan kolom CO di provinsi Riau pada SON

PEMBAHASAN

Variasi temporal ozon di provinsi Riau bervariasi antara 215 DU sampai dengan 271 DU. Konsentrasi ozon yang rendah terjadi pada tahun 2007 dan 2010. Konsentrasi ozon yang lebih rendah pada tahun 2005, 2007 dan 2010 terkait dengan kondisi La Nina yang identik dengan kandungan uap air yang tinggi. Sebagai konsekwensinya kondisi ozon akan menjadi lebih rendah karena uap air dapat merusak ozon sehingga ozon di tahun-tahun terjadinya La Nina menjadi lebih rendah. Sedangkan pada tahun 2004, 2006 dan 2009 ozon di Provinsi Riau menunjukkan konsentrasi yang tinggi. 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.

Konsentrasi total kolom CO maksimum di bulan Oktober 2004, dan 2006 dan 2015 didominasi oleh pengaruh peristiwa kekeringan dan kebakaran hutan. Variasi temporal CO

menunjukkan kondisi ekstrim pada Oktober 2006 dan 2015 karena terjadi kebakaran hutan yang besar di wilayah Provinsi Riau khususnya di Sumatera. 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 Provinsi Riau pada 2003 sampai Maret 2016, variasi musiman CH₄ di Provinsi Riau antara variasi musiman maksimum dan minimum perbedaannya tidak terlalu signifikan.

KESIMPULAN

Hasil analisis ozon, CO, CH₄ dan uap air dari data AQUA-AIRS memberikan hasil bahwa ozon di Provinsi Riau bervariasi antara 220 DU – 296 DU. CO antara 1,5 10¹⁸ molekul/cm² sd ~ 6 10¹⁸ molekul/cm². CH₄ bervariasi antara 3.63 10¹⁹ molekul/cm² sd ~ 3.77 10¹⁹ molekul/cm² dan uap air antara 38 kg/m² sd ~ 49 kg/m². Analisis variasi musiman ditunjukkan oleh variasi ozon, CO dan uap air, sedangkan CH₄ selain menunjukkan variasi musiman juga menunjukkan trend peningkatan konsentrasi dari tahun ke tahun. Analisis variasi musiman ozon maksimum pada bulan-bulan MAM dan minimum pada DJF. CO maksimum pada bulan-bulan SON dan minimum pada JJA, pola musiman CH₄ mencapai maksimum pada bulan-bulan SON dan minimum pada JJA, sedangkan variasi musiman uap air provinsi Riau maksimum pada bulan-bulan MAM dan minimum pada JJA. Bila dilihat dari konsentrasi uap air, di provinsi Riau tahun terkering adalah tahun 2004 dan tahun 2010 tahun terbasah. Tahun 2015 CO, dan CH₄ di provinsi Riau mencapai nilai tertinggi sepanjang periode penelitian. Pemantauan komposisi kimia atmosfer Provinsi Riau dalam jangka panjang bermanfaat untuk mengantisipasi kenaikan konsentrasi parameter atmosfer seperti CO dari kebakaran hutan yang pada umumnya berdampak negatif terhadap lingkungan dan umat manusia.

DAFTAR RUJUKAN

- Atmospheric Infra Red Sounder Brosures,
http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/AIRS/documentation/AIRS_brochure.pdf, 2013.
- Brasseur, G., Orlando, J., Tyndall, G. (Editors), Atmospheric Chemistry and Global Change. Topics in Environmental Chemistry. Oxford University Press, New York, 654 pp, 1999.
- Hobbs, P., Introduction to Atmospheric Chemistry. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 262 pp., 2000.
- Kaye, *et al.* "Stratospheric Ozone Change," Global Atmospheric Chemical Change, Chapman and Hill, New York, pp 125-126, 138, 1993.
- Makarova, M. V., A. V., Poborovskii and Yu M Timoteev., Temporal Variation of Total Atmospheric CO over St Petersburg, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics* vol 40, No. 3, pp. 313-322, 2004.
- Ninong Komala, Analisis Variabilitas Konsentrasi Uap Air dengan Suhu Permukaan di Indonesia Periode 2003-2012, Prosiding Simposium Fisika Nasional (SFNXXVII) 16-17 Oktober 2014, Universitas Udayana, Denpasar Bali, 2014.
- Pidwirny, M., "Atmospheric Composition". *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition, 2006.
- Ruddiman, W.F., The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climatic Change* 61, 261-293, 2003.
- [1] Shindell, D. T., "Climate and ozone response to increased stratospheric water vapor",

Geophys. Res.Lett., 28, 1551–1554, 2001.

Stolarski R. S., Douglass, A.R., Steenrod, S., Pawso, S., Trend in stratospheric ozone, *Journal of the Atmospheric Science*, vol 83, pp 1028-1040, 2005.

Vogel B., Muller R., A. Engel, J.-U. Groö, D. Toohey, T. Woyke, and F. Stroh, *Midlatitude ClO During the Maximum Atmospheric Chlorine Burden: In Situ Balloon Measurements and Model Simulations*, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 1623–1638, 2005.

WMO (World Meteorological Organization), *Scientific assessment of ozone depletion: 2010, Rep. 52*, Global Ozone Res. and Monit. Proj., 516 pp., Geneva, Switzerland, 2011.