

## FRAKSI AWAN, O<sub>3</sub> TROPOSFER DAN HUBUNGANNYA TERHADAP SO<sub>2</sub> DI KALIMANTAN BARAT

Tuti Budiwati, Novita Ambarsari dan Wiwiek Setyawati

Pusat Sains Dan Teknologi Atmosfer-LAPAN

e-mail: [tuti\\_lapan@yahoo.com](mailto:tuti_lapan@yahoo.com)

### Abstract

Cloud fraction as an indication of the OH group has the potential to directly destroy ozone. Ozone is an oxidant and also a high reactive chemical. Cloud plays important role in washing-out process of SO<sub>2</sub> and sulfate aerosols as wet deposition. Cloud fraction and tropospheric ozone data was derived from Aura-OMI (NASA) from 2005 until 2009, for region of West Kalimantan. Distribution of total column SO<sub>2</sub> were also analyzed by using total column SO<sub>2</sub> data during period 2004-2009 from SCIAMACHY. Analysis results showed that the highest value of clouds fraction was found during DJF rainy season, ranged from 0.25 to 0.6. Furthermore the highest distribution of tropospheric ozone (O<sub>3</sub>) was found in Ketapang area, ranged from 60 DU to 67 DU during dry season JJA. During transitional seasons SON, the highest total column SO<sub>2</sub> was found in the southern part of West Kalimantan, ranged from 0.081 to 0.091 DU. Correlation between cloud fraction; O<sub>3</sub> and SO<sub>2</sub> was tested by applying Pearson correlation method during period 2005-2009 for DJF; MAM; JJA and SON seasons. The results showed that the cloud fraction did not inhibit production of tropospheric O<sub>3</sub> as indicated by a negative value and a significant correlation between both of them with value of -0.520\* during JJA season. While a significant clouds fraction played important role in formation of sulphate from SO<sub>2</sub> during DJF with a correlation value of -0.534\*. During MAM oxidation of SO<sub>2</sub> by O<sub>3</sub> was powerful and significant with a value of 0.557\*.

**Keywords:** cloud fraction, Pearson correlation, seasonality, troposphere O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> total column

### Abstrak

Frakasi awan sebagai indikasi adanya gugus OH berpotensi secara langsung menghancurkan ozon. Ozon adalah oksidator dan berkemampuan reaktif kimia yang tinggi. Awan berpengaruh pada proses pencucian SO<sub>2</sub> dan aerosol sulfat dalam deposisi basah. Data fraksi awan dan ozon troposfer diambil dari sensor OMI-Aura (NASA) dari Januari 2005-Desember 2009, untuk wilayah Kalimantan Barat. Analisis distribusi total kolom SO<sub>2</sub> dengan menggunakan data total kolom SO<sub>2</sub> tahun 2004-2009 dari SCIAMACHY. Hasil analisis memperlihatkan nilai fraksi awan tinggi pada musim penghujan DJF dengan variasi dari 0,25 sampai 0,6. Dan distribusi ozon (O<sub>3</sub>) troposfer didapati tinggi didaerah Ketapang dalam variasi 60 DU sampai 67 DU pada musim kemarau Juni-Agustus (JJA). Pada musim peralihan September-Nopember (SON), total kolom SO<sub>2</sub> paling tinggi yaitu 0,081-0,091 DU terdapat di bagian selatan Kalimantan Barat. Dengan metode korelasi Pearson diuji tingkat keterkaitan antara fraksi awan; O<sub>3</sub> dan SO<sub>2</sub> pada periode 2005-2009 untuk musim DJF; MAM; JJA dan SON. Hasilnya didapati bahwa fraksi awan tidak menghambat produksi O<sub>3</sub> troposfer dengan nilai korelasi negatif dan signifikan pada musim JJA sebesar -0,520\*. Sedangkan fraksi awan signifikan membentuk SO<sub>2</sub> menjadi sulfat pada musim DJF dengan nilai korelasi sebesar -0,534\*. Pada musim MAM didapati oksidasi O<sub>3</sub> terhadap SO<sub>2</sub> adalah kuat dan signifikan dengan nilai sebesar 0,557\*.

**Kata kunci:** fraksi awan, korelasi Pearson, musiman, O<sub>3</sub> troposfer, total kolom SO<sub>2</sub>

## 1. PENDAHULUAN

Dampak dari kebakaran hutan adalah turunnya jarak pandang dan meningkatnya gas-gas hasil pembakaran *biomass* seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{Cl}$ , hidrokarbon lainnya dan aerosol ke udara. Pertumbuhan ekonomi dan populasi di wilayah Kalimantan Barat akan memicu penggunaan bahan bakar fosil dan terbentuknya emisi gas buang. Selain itu kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan Barat terjadi hampir setiap tahun seiring dengan datangnya musim kemarau (KNLH, 2008) dan secara nyata telah menimbulkan berbagai dampak negatif pada semua tingkat, baik lokal, nasional, maupun regional.

Peningkatan gas-gas dan aerosol ini akan mengalami reaksi kimia di atmosfer untuk membentuk ozon dan hujan asam. Peningkatan gas buang seperti  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , dan aerosol akan mempengaruhi kadar keasaman air hujan. Aerosol dan gas-gas  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  yang terlarut dalam udara dapat dibersihkan dari atmosfer melalui proses pembersihan secara kering (*dry deposition*) atau basah (*wet deposition*) (Seinfeld dan Pandis, 1998). Proses pembersihan secara basah atau deposisi basah adalah proses pencucian yang mana polutan (gas-gas dan partikel) diserap oleh elemen hujan (butir-butir air, partikel-partikel es) dan jatuh (diendapkan) di permukaan selama hujan. Sedangkan emisi alkali (partikel debu dan gas  $\text{NH}_3$ ) akan mempengaruhi keasaman air hujan secara signifikan, dengan menetralkan beberapa faktor asam (Mouli et al., 2005). Adanya ozon di atmosfer berperan pula sebagai oksidator  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  untuk membentuk asam sulfat dan nitrat yang berdampak terjadinya hujan asam.

Reaksi dari sulfur oksida untuk membentuk asam sulfat cukup lambat. Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dapat tetap di udara selama 3-4 hari. Sebagai konsekuensinya, hujan asam yang berasal dari oksida belerang dapat melakukan perjalanan ratusan kilometer atau bahkan seribu mil (Ophardt, 2003). Fluktuasi dan variasi temporal konsentrasi

pencemaran udara di suatu tempat akan memberikan gambaran klimatologi tertentu, yang bersifat dan berkarakteristik khusus. Maka konsentrasi ozon troposfer di suatu tempat sangat tergantung pada transport ozon dan prekursor jarak jauh dalam skala meso dan makro (Soedomo, 2001). Pembentukan ozon yang merupakan pencemaran sekunder juga tergantung pada penyinaran sinar matahari. Sedangkan isopleth  $\text{SO}_2$  ditentukan oleh kuatnya intensitas sumber pencemar yang ada (Soedomo, 2001).

Dalam paper ini akan dianalisis distribusi fraksi awan yang merupakan indikasi adanya gugus OH dan berpotensi secara langsung menghancurkan ozon. Analisis juga ditujukan pada peranan fraksi awan dalam proses pembersihan terhadap  $\text{SO}_2$  secara basah. Selanjutnya analisis distribusi ozon troposfer dan total kolom  $\text{SO}_2$ , dan potensinya sebagai oksidator  $\text{SO}_2$ . Mengingat keterkaitan ketiga parameter tersebut, maka akan diuji tingkat keterkaitannya dengan menggunakan korelasi Pearson.

## 2. DATA DAN METODE

Data fraksi awan rata-rata bulanan diperoleh dari sensor Ozone Monitoring Instrument (OMI) dari satelit AURA (NASA) dengan grid  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  untuk wilayah Kalimantan Barat ( $108,44^\circ$ - $114,30^\circ$  BT;  $2,33^\circ$  LU- $3,22^\circ$  LS) dari 2005 sampai 2009. Selanjutnya data fraksi awan rata-rata bulanan diolah menjadi rata-rata musiman yaitu DJF (Desember Januari Februari), MAM (Maret April Mei), JJA (Juni Juli Agustus) dan SON (September Oktober Nopember). Dari data fraksi awan rata-rata musiman dibuat peta dengan perangkat lunak *Arc View/GIS* ver. 3.3 untuk  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ .

Data ozon troposfer rata-rata bulanan diperoleh dari sensor Ozone Monitoring Instrument (OMI) dari satelit AURA dengan grid  $1^\circ \times 1,25^\circ$  untuk wilayah Kalimantan Barat dengan cakupan seperti fraksi awan dari 2005 sampai 2009. Data yang diperoleh diolah menjadi data rata-rata musiman DJF, MAM, JJA dan SON. Selanjutnya dibuat

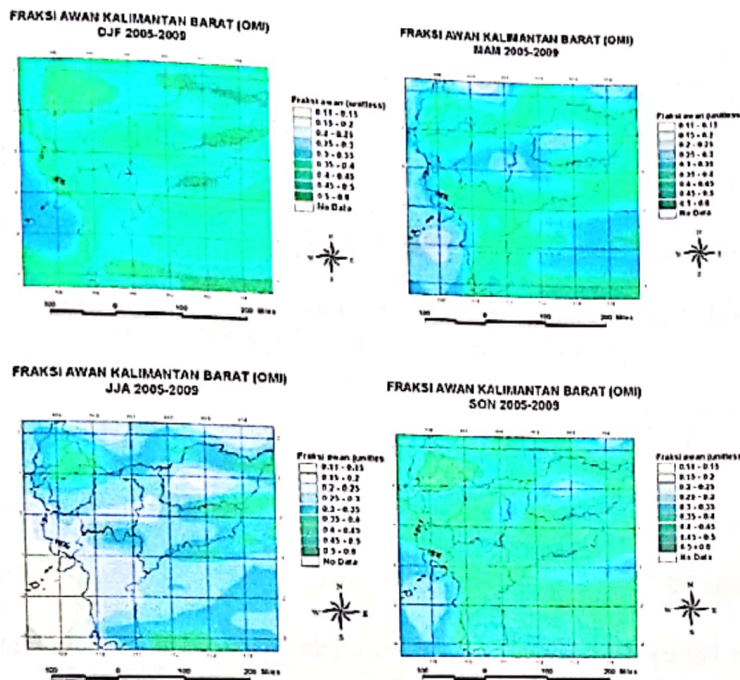
peta distribusi ozon troposfer rata-rata musiman dengan perangkat lunak *Arc View/GIS* ver. 3.3 untuk  $1^\circ \times 1,25^\circ$ .

Data total kolom  $\text{SO}_2$  merupakan hasil pengayaan data sensor atmosfer SCHIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography) yang terpasang pada The European Environmental Satellite (ENVISAT) (<http://www.oma.be/BIRA-IASB/Molecules/SO2archive/vs/month.php>) di wilayah Kalimantan Barat. Data berupa rata-rata bulanan densitas kolom vertikal  $\text{SO}_2$  dalam satuan Dobson (Dobson Unit, DU) dari bulan Januari 2004 hingga Desember 2009 dalam grid  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ , kemudian dibuat rata-rata musiman. Nilai 1 Dobson Unit (DU) adalah  $2,6867 \times 10^{20}$  molekul per meter<sup>2</sup> atau  $4,4615 \times 10^{-04}$  mol per meter<sup>2</sup>. Selanjutnya untuk mendapat distribusi ruang digunakan perangkat lunak *Arc View/GIS* ver. 3.3 dengan grid =  $0,01^\circ \times 0,01^\circ$ .

Selain itu dari data rata-rata bulanan masing-masing parameter dari 2005 sampai 2009 dikelompokkan dalam empat musim untuk dilihat keterkaitannya. Selanjutnya dilakukan uji tingkat keterkaitan antara fraksi awan;  $\text{O}_3$  dan  $\text{SO}_2$  untuk musim DJF; MAM; JJA dan SON dengan menggunakan metode statistik korelasi Pearson dari SPSS 15 (Statistical Product and Service Solutions 15). Koefisien korelasi ( $r$ ) digunakan untuk mengetahui kuat atau tidaknya hubungan antara variabel-variabel bebas dan variabel tidak bebas. Untuk uji pengaruh antar variabel-variabel digunakan nilai probabilitas ( $p$ -value) atau dalam SPSS tertulis SIG (*significance*). Jika  $p$ -value nilainya lebih rendah daripada  $\alpha$  (alpha) maka pengaruh antar variabel dikatakan signifikan, sedangkan jika nilainya lebih tinggi maka berarti pengaruh antar variabel tidak signifikan. Nilai  $\alpha$  (alpha) adalah nilai koefisien kepercayaan yang dalam perhitungan ini digunakan  $\alpha$  (alpha) 0,05 atau tingkat kepercayaan 95% (Seni, 2005).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Fraksi Awan



Gambar 1 : Distribusi fraksi awan dari satelit OMI di Kalimantan Barat dari 2005-2009

Nilai fraksi awan di wilayah Kalimantan Barat tinggi pada musim penghujan DJF dengan variasi dari 0,25 sampai 0,6 (Gambar 1). Wilayah Sambas di bagian barat daya Kalimantan mempunyai fraksi awan yang tinggi yaitu 0,5-0,6. Dan nilai fraksi awan paling rendah ditemukan di Pontianak sampai Ketapang di sebelah tenggara dari Kalimantan Barat dengan variasi 0,2-0,25. Fraksi awan yang tinggi menunjukkan adanya gugus OH yang banyak juga di wilayah tersebut. Ozon troposfer dirusak oleh reaksi fotolisa (Seinfeld and Pandis, 1998; Meszaros, 1981) adalah sebagai berikut:  $O_3 + hv \rightarrow O(^1D) + O_2$ . Dan  $O(^1D)$  adalah atom oksigen yang dalam kondisi "terexcited" secara elektronik ( $O^* \equiv O(^1D)$ ) bila bereaksi dengan  $H_2O$  akan membentuk gugus hidroksil (HO). Awan mengandung  $H_2O$  yang berpotensi secara langsung menghancurkan ozon terutama pada ketinggian diatas 40 km. Radikal OH dan  $HO_2$  yang dihasilkan dari fotokimia air adalah:  $H_2O + O^* \rightarrow 2HO$  (Seinfeld and Pandis,

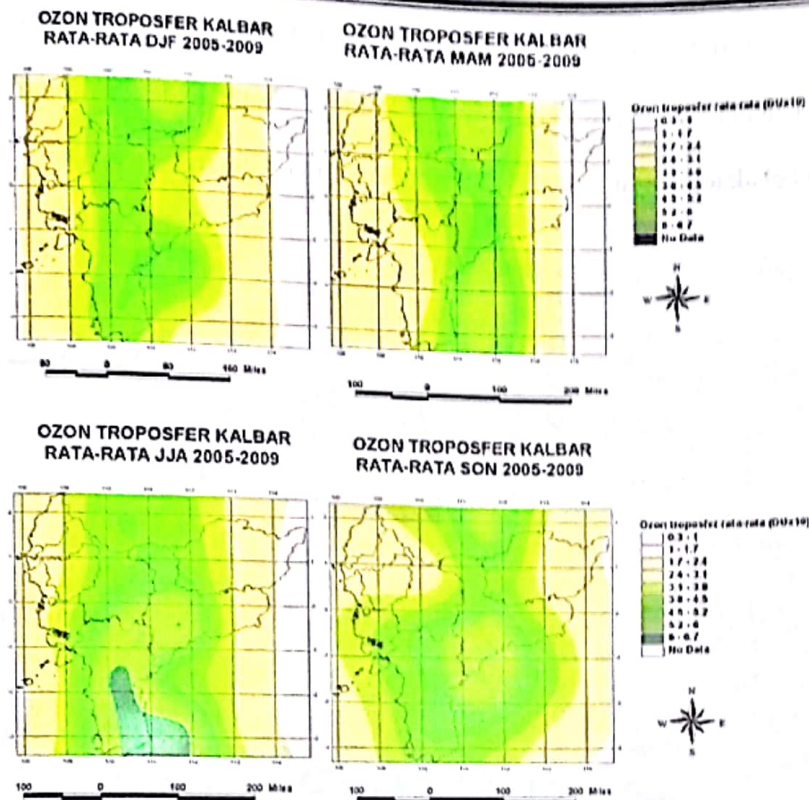
1998; Meszaros, 1981). Dampaknya akan menurunkan jumlah ozon di atmosfer karena reaksi fotokimia.

Awan berperanan juga untuk mempercepat kenaikan pH. Jika  $\text{NH}_3$  diserap oleh butir-butir awan, akan menaikkan kecepatan oksidasi  $\text{SO}_2$  oleh  $\text{O}_3$  (Maahs, 1983) dalam Asman dan Janssen, 1987. Hasilnya lebih banyak  $\text{SO}_2$  yang diambil oleh butir-butir awan dan akan dioksidasi menjadi  $\text{SO}_4^{2-}$  (Asman dan Janssen, 1987).

### 3.2 Ozon Troposfer

Distribusi ozon ( $\text{O}_3$ ) troposfer didapati tinggi didaerah Ketapang dalam variasi  $6 \times 10$  DU sampai  $6,7 \times 10$  DU pada musim kemarau JJA (Gambar 2). Pada musim kemarau angin berasal dari tenggara akan membawa polutan dari Kalimantan Tengah maupun Kalimantan Selatan ke wilayah Kalimantan Barat. Polutan-polutan tersebut relatif stabil di atmosfer dan dapat berpindah bersamaan dengan massa udara untuk jarak jauh (Milukaite et al., 2000). Diduga adanya kebakaran hutan pada musim kemarau akan memacu terbentuknya  $\text{O}_3$  troposfer disebabkan melimpahnya CO dan  $\text{NO}_x$ . Maka konsentrasi ozon troposfer sangat tergantung pada transport ozon dan prekursor jarak jauh dalam skala meso dan makro.

Secara umum di Kalimantan Barat konsentrasi  $\text{O}_3$  troposfer pada musim JJA paling tinggi dibandingkan musim lainnya. Hal ini tentunya dipicu oleh jumlah prekursor  $\text{O}_3$  seperti CO,  $\text{NO}_2$  yang melimpah di musim JJA. Selain itu fraksi awan yang kecil di wilayah selatan Kalimantan Barat memberi peluang dalam produksi  $\text{O}_3$ . Adapun distribusi konsentrasi  $\text{O}_3$  troposfer yang ekstrim pada masing-masing wilayah bukan tidak tergantung penyinaran sinar matahari atau proses fotokimia. Mengingat letak lintang dari wilayah tersebut masih di ekuator yaitu  $2,33^\circ \text{N}$ - $3,22^\circ \text{S}$ . Ozon ( $\text{O}_3$ ) sebagai oksidator akan mempercepat pembentukan sulfat dan nitrat.

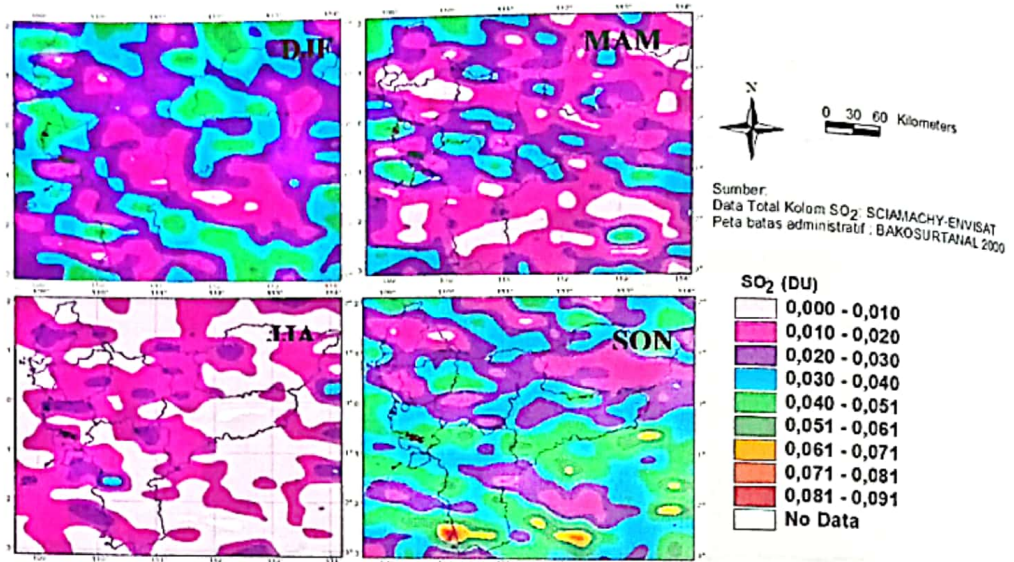


Gambar 2: Distribusi ozon ( $O_3$ ) troposfer dalam satuan DU ( $\times 10$ ) dari satelit OMI di Kalimantan Barat dari 2005-2009

### 3.3 Total kolom $SO_2$

Pada bulan-bulan musim peralihan SON, kondisi total kolom  $SO_2$  dari sensor SCHIAMACHY satelit Envisat paling tinggi yaitu 0,081-0,091 DU dan berada di bagian selatan Kalimantan Barat (Gambar 3) masuk Kab. Ketapang. Konsentrasi total kolom  $SO_2$  di Kota Pontianak dan Singkawang adalah 0,034 DU dan 0,029 DU, sedangkan di Kab. Ketapang sebesar 0,04-0,091 DU. Konsentrasi yang cukup tinggi sebesar 0,051-0,061 DU terdapat di daerah Sangau dan ujung Wilayah ini retan terjadi kebakaran hutan dan lahan pada musim kemarau. Adapun nilai kecil yaitu 0,010-0,020 DU didapati pada bulan-bulan JJA di hampir seluruh Kalimantan Barat kecuali di bagian pantai barat selatan atau barat daya yaitu di Kab. Ketapang agak tinggi dalam

kisaran 0,020-0,030 DU. Wilayah Kab. Sintang dan Kab. Kapuas Hulu sebagai wilayah penghasil batubara ternyata kondisi total kolom  $\text{SO}_2$  tidak begitu tinggi dibandingkan wilayah kebakaran hutan seperti Kab. Ketapang dan Sangau.



**Gambar 3:** Distribusi rata-rata total kolom  $\text{SO}_2$  (DU) dari SCHIAMACHY satelit Envisat di Kalimantan Barat dari 2004-2009

### 3.4 Hubungan antara fraksi awan, $\text{O}_3$ troposfer dan total kolom $\text{SO}_2$

Dari tabel 1 memperlihatkan pada musim kemarau JJA terlihat keterkaitan fraksi awan dengan pembentukan  $\text{O}_3$  troposfer yang kuat dan signifikan, yaitu dengan nilai korelasi Pearson sebesar 0,520\* dan nilai  $p=0,047 < 0,05$ . Jadi pengurangan konsentrasi  $\text{O}_3$  troposfer sangat didominasi oleh awan di atmosfer yang jumlahnya melimpah pada bulan-bulan basah atau hujan. Berdasarkan penelitian Setyawati et al. (2008) mendapatkan korelasi antara  $\text{O}_3$  dan uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) adalah negatif dengan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) = -0,996 dengan nilai signifikan lebih kecil dari 0,05 atau tingkat kepercayaannya lebih tinggi dari 95% baik untuk siang dan malam hari. Hal ini mengindikasikan bahwa baik pada siang maupun malam hari  $\text{H}_2\text{O}$  diketahui memiliki potensi perusakan ozon yang sama besarnya. Radikal hidroksil (OH) yang dihasilkan



dari reaksi fotokimia antara  $H_2O$  dan atom oksigen yang *terexcited* ( $O^*$ ) memiliki kemampuan merusak  $O_3$  yang besar.

Tabel 1. Hubungan antara fraksi awan,  $O_3$  troposfer dan total kolom  $SO_2$  dalam musim DJF (Desember-Februari); MAM (Maret-Mei); JJA (Juni-Agustus) dan SON (September-Nopember) berdasarkan data rata-rata bulanan ( $N= 60$ ) periode 2005-2009.

DJF	fraksi awan	$O_3$ troposfer	total kolom $SO_2$
fraksi awan	1		
$O_3$ troposfer	0,056;p=0,843	1	
total kolom $SO_2$	-0,534*; p=0,041	0,039;p=0,891	1
<b>MAM</b>			
fraksi awan	1		
$O_3$ troposfer	0,381;p=0,161	1	
total kolom $SO_2$	0,002;p=0,994	0,557*;p=0,031	1
<b>JJA</b>			
fraksi awan	1		
$O_3$ troposfer	-0,520*;p=0,047	1	
total kolom $SO_2$	-0,015;p=0,958	0,057;p=0,841	1
<b>SON</b>			
fraksi awan	1		
$O_3$ troposfer	-0,112;p=0,692	1	
total kolom $SO_2$	-0,111;p=0,694	-0,4;p=0,139	1

\*\*Korelasi adalah signifikan pada level 0,01.

\*Korelasi adalah signifikan pada level 0,05.

Hubungan yang kuat dan signifikan antara fraksi awan dengan total kolom  $SO_2$  terjadi pada musim DJF (hujan), dengan korelasi Pearson sebesar -0,534\* dan  $p = 0,041 < 0,05$ . Proses oksidasi  $SO_2$  oleh  $O_3$  menjadi  $SO_4^{2-}$  dan dilanjutkan pembersihan oleh butir-butir awan. Akibatnya terjadi pengurangan  $SO_2$  di atmosfer. Pengaruh  $O_3$  troposfer yang kuat dan signifikan terhadap total kolom  $SO_2$  terlihat pada bulan MAM dengan koefisien korelasi 0,557\* dan  $p=0,031$ . Jumlah  $O_3$  troposfer cukup tinggi pada bulan-bulan Maret sampai Mei (MAM) di Kalimantan Barat.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil analisis memperlihatkan nilai fraksi awan di wilayah Kalimantan Barat tinggi pada musim penghujan DJF dengan variasi dari 0,25 sampai 0,6. Dan distribusi ozon ( $O_3$ ) troposfer didapati tinggi didaerah Ketapang dalam variasi 60 DU sampai 67 DU pada musim kemarau JJA. Pada bulan-bulan musim peralihan SON konsentrasi total kolom  $SO_2$  paling tinggi yaitu 0,081-0,091 DU terdapat di bagian selatan Kalimantan Barat.

Tingkat keterkaitan antara fraksi awan;  $O_3$  dan  $SO_2$  pada periode 2005-2009 didapati bahwa fraksi awan tidak menghambat produksi  $O_3$  troposfer dengan nilai korelasi negatif dan signifikan pada bulan bulan JJA sebesar -0,520\*. Sedangkan fraksi awan signifikan membentuk  $SO_2$  menjadi sulfat pada bulan-bulan DJF dengan nilai korelasi sebesar -0,534\*. Pada bulan-bulan MAM didapati oksidasi  $O_3$  terhadap  $SO_2$  adalah kuat dan signifikan dengan nilai sebesar 0,557\*.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Asman W. A. H., and Janssen, A. J., A Long-Range Transport Model For Ammonia and Ammonium For Europe, *Atmospheric Environment*, Vol. 21, No. 10, 2099-2119, 1987.
- KNLH, Status Lingkungan Hidup Indonesia 2007, Kementerian Negara Lingkungan Hidup, Jakarta, 73-147, 2008.
- Meszaros, E., *Atmospheric Chemistry Fundamental Aspects*, Studies in Environmental Science II, Elsevier Scientific Publishing Company, 48-49 dan 146, 1981.
- Milukaite, A., Mikelinskiene, A., and Giedraitis, B., Acidification of the world: Natural and Anthropogenic, *Acid Rain 2000*, Proceeding from the 6 th International Conference on Acidic Deposition: Looking back to the past and thinking of the future, Tsukuba, Japan, Vol. I, 1553-1558. 10-16 December 2000.

Mouli, P. C., Mohan, S. V., and Reddy, S. J., Rainwater chemistry at a regional representative urban site: influence of terrestrial sources on ionic composition, *Atmospheric Environment*, No. 39, 999 – 1008, 2005.

Ophardt, C. E., Virtual Chembook, Acid Rain, Elmhurst College, diunduh 20 Desember 2010, 2003.

Seinfeld, J. H., and Pandis, S. N., *Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change*, John Wiley and Sons, INC., New York, hal, 234-335; 1030-1033; 1143-1145, 1998.

Seni, M. S., Tugas makalah: Analisis Multiregresi, STT Telkom Bandung, <http://www.stttelkom.ac.id>, 2005.

Soedomo, M., *Kumpulan Karya Ilmiah Mengenai Pencemaran Udara*, Penerbit ITB Bandung, 92-93, 2001.

Setyawati, W., Hidayati, R., dan Budiyo, A., Potensi Pembentukan dan Perusakan Ozon Di Lapisan Stratosfer Atas Hasil Pengamatan AURA-MLS, *Prosiding Workshop Aplikasi Sains Atmosfer*, LAPAN Bandung, ISBN: 978-979-1458-25-2, 1-2 Desember 2008.