

KORELASI OZON DAN BROMIN MONOKSIDA DI INDONESIA BERBASIS OBSERVASI SATELIT AURA-MLS [BROMINE MONOXIDE AND OZONE CORRELATION IN INDONESIA BASED ON AURA-MLS SATELLITE OBSERVATION]

Novita Ambarsari, Ninong Komala, dan Waluyo Eko Cahyono

Peneliti Bidang Komposisi Atmosfer, Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN

e-mail: novitaambar@yahoo.com

Diterima 16 April 2013; Disetujui 13 Juni 2013

ABSTRACT

Microwave Limb Sounder (MLS) is part of the Earth Observing System (EOS) placed on NASA's AURA satellite that was launched on July 15, 2004 and effectively produce data results of global observations from September 2004 until today. MLS measure vertical profiles of ozone and other atmospheric chemical components with a more accurate. Determination of Bromine Monoxide (BrO) and Ozone vertical profiles in Indonesia has been done based on atmospheric observations by using Microwave Limb Sounder (MLS) instrument on board the AURA satellite. The correlation between ozone and BrO was determined by using Pearson Correlation method. The data used were the vertical profile of BrO and Ozone over Indonesian region (95° BT-145° BT, 6° LS-11° LU) in 2005-2010. The analysis showed that monthly variation of ozone vertical profiles in Indonesia in 2005-2010 was generally constant below 100 hPa and rising from 100 hPa to 0.1 hPa (from the lower stratosphere to the upper stratosphere) and then decreasing with a maximum value in the middle stratosphere at a pressure of 10 hPa where ozone mixing ratio occurred between 8000 to 11000 ppbv (8 to 11 ppmv). The minimum ozone value occur in the troposphere above the altitude of 0.01 hPa. The analysis also showed that the peak of BrO profile occurred at a pressure of 14 hPa with a concentration range between 0.005 to 0.04 ppbv. BrO highest peak concentration occurred in February 2006-2008 and the lowest peak occurred in May 2006 to 2008 with a concentration of 0.02 ppbv. Ozone and BrO correlation showed value -0.218. Negative correlation indicated high BrO concentration caused a decrease in the concentration of ozone over the Indonesia's stratosphere layer.

Keywords: *MLS AURA, Bromine monoxide, Ozone, Correlation*

ABSTRAK

Microwave Limb Sounder (MLS) merupakan bagian dari *Earth Observing System (EOS)* ditempatkan pada satelit AURA NASA yang diluncurkan pada tanggal 15 Juli 2004 dan efektif menghasilkan hasil data pengamatan global dari September 2004 hingga saat ini. MLS mengukur profil vertikal ozon dan komponen kimia atmosfer dengan lebih akurat. Penentuan profil vertikal Bromin Monoksida (BrO) dan Ozon di Indonesia telah dilakukan berdasarkan pengamatan atmosfer dengan menggunakan instrumen *Microwave Limb Sounder (MLS)* pada satelit AURA. Data yang digunakan adalah data profil vertikal BrO dan Ozon di wilayah Indonesia (95° BT-145° BT, 6° LS-11° LU) selama tahun 2005-2010. Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi bulanan profil ozon vertikal di Indonesia tahun 2005-2010 umumnya konstan di bawah 100 hPa dan meningkat pada rentang tekanan 100 hPa hingga 0,1 hPa (dari stratosfer bawah ke stratosfer atas) dan kemudian menurun lagi dengan nilai maksimum terjadi pada stratosfer tengah pada tekanan 10 hPa saat perbandingan campuran ozon maksimum antara 8.000-11.000 ppbv (8 sampai 11 ppmv). Ozon mencapai nilai minimum di

troposfer pada ketinggian di atas 0,01 hPa. Konsentrasi BrO tertinggi terjadi pada tekanan 14 hPa dengan rentang konsentrasi 0,005-0,04 ppbv yang terjadi pada bulan Februari 2005-2010 dan puncak terendah terjadi pada bulan Mei 2005-2010 dengan konsentrasi 0,02 ppbv. Korelasi antara ozon dan BrO pada tekanan 14 hPa menunjukkan nilai -0.218. Korelasi negatif menunjukkan peningkatan konsentrasi BrO berhubungan dengan penurunan konsentrasi ozon di lapisan stratosfer di atas Indonesia.

Kata kunci: *MLS AURA, Bromine monoksida, Ozon, Korelasi*

1 PENDAHULUAN

Ozon merupakan komponen kimia atmosfer yang memiliki peranan sangat penting. Distribusi ozon di atmosfer tidak homogen dengan konsentrasi ozon terbesar terdapat pada ketinggian 25 sampai 40 km yang disebut lapisan stratosfer. Lapisan stratosfer mengandung 90% dari total ozon yang terdapat di atmosfer. Ozon di stratosfer berperan sebagai pelindung bumi dari radiasi sinar ultraviolet dengan panjang gelombang 280-320 nm yang berbahaya bagi kehidupan (NASA, 2001).

Proses pembentukan ozon di stratosfer terjadi melalui reaksi utama yaitu reaksi penguraian (fotolisis) molekul oksigen oleh sinar UV dengan panjang gelombang di bawah 240 nm yang dapat memutus ikatan O₂ seperti dijelaskan berikut ini (Mc.Conell, 2008):



hv adalah energi foton (h = konstanta planck) dengan frekuensi ν dan panjang gelombang λ . Atom O yang terbentuk bereaksi sangat cepat dengan molekul O₂ untuk membentuk O₃ (Mc.Conell, 2008):



M adalah molekul netral.

Proses penguraian ozon di stratosfer terjadi terutama akibat proses fotolisis ozon dengan sangat cepat oleh sinar UV dan sinar tampak dari radiasi matahari dengan reaksi sebagai berikut (Mc.Conell, 2008):



Reaksi tersebut merupakan reaksi sederhana yang menjadi bagian dari rangkaian reaksi lainnya yang diperkenalkan oleh Sydney Chapman yang bisa menjelaskan mengenai lapisan ozon dan masih dapat digunakan hingga sekarang (Mc.Conell, 2008). Reaksi lainnya yang melibatkan radikal-radikal HO_x (=H + OH + HO₂ + ...), NO_x (=NO + NO₂), ClO_x (=Cl + ClO + OClO + HOCl + BrCl) dan BrO_x (= Br + BrO + BrCl + HOBr) juga mempengaruhi jumlah ozon. Semua radikal ini berasal dari senyawa-senyawa lain yang bersumber dari alam maupun buatan manusia yang memiliki waktu hidup panjang sehingga dapat berpindah dari troposfer ke stratosfer, seperti CFC. HO_x berasal dari peristiwa fotokimia yang memutus molekul H₂O melalui proses fotolisis atau melalui reaksi dengan atom oksigen yang sangat reaktif (O[•]) (Mc. Conell, 2008).

Ozon di stratosfer secara global telah mengalami penurunan sejak sekitar 25 tahun yang lalu (Vogel B, *et.al*, 2005). Untuk wilayah lintang menengah, karakteristik ozon secara vertikal, lintang, maupun musiman telah menunjukkan adanya perubahan yang berkaitan dengan teori bahwa halogen menjadi penyebab utama dari fenomena ini. Proses penguraian ozon di stratosfer bawah dikatalisis oleh reaksi ozon dengan BrO, ClO, HO₂, dan N₂O (Vogel B, *et.al*, 2005).

Bromin Monoksida (BrO) berperan penting dalam reaksi kimia ozon karena bersifat sebagai bahan yang mempercepat reaksi perusakan ozon di atmosfer sesuai reaksi berikut (Theys dan Roozendael, 2009):



Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Matveev, dkk (2001), peningkatan konsentrasi BrO di atmosfer hingga mencapai 100 pptv menyebabkan penurunan konsentrasi ozon dari 50-80 ppbv pada kondisi normal menjadi hanya 10-30 ppbv (Matveev *et.al*, 2001). Uraian di atas yang menunjukkan pentingnya bromin monoksida sebagai senyawa perusak ozon menjadi latar belakang penelitian ini. Sedangkan tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan korelasi antara BrO dengan ozon stratosfer di Indonesia berdasarkan data satelit AURA milik NASA dengan instrumen *Microwave Limb Sounder* (MLS).

2 DATA DAN METODE

Data profil ozon dan BrO Indonesia dari tahun 2005-2010 hasil observasi sensor *Microwave Limb Sounder* (MLS) diunduh dari website resmi MIRADOR <http://mirador.gsfc.nasa.gov/index.shtml>. Website ini disediakan oleh NASA Amerika untuk memperoleh data hasil observasi berbagai instrumen pada beberapa satelit.

Data profil ozon dan BrO yang diperoleh merupakan data *volume mixing ratio* (vmr) ozon harian. Data harian tersebut meliputi seluruh wilayah Indonesia (6° LU – 11° LS, 95° BT – 145° BT). Untuk memperoleh satu profil ozon dan BrO di seluruh Indonesia, nilai konsentrasi ozon dirata-ratakan untuk seluruh lintang dan bujur Indonesia.

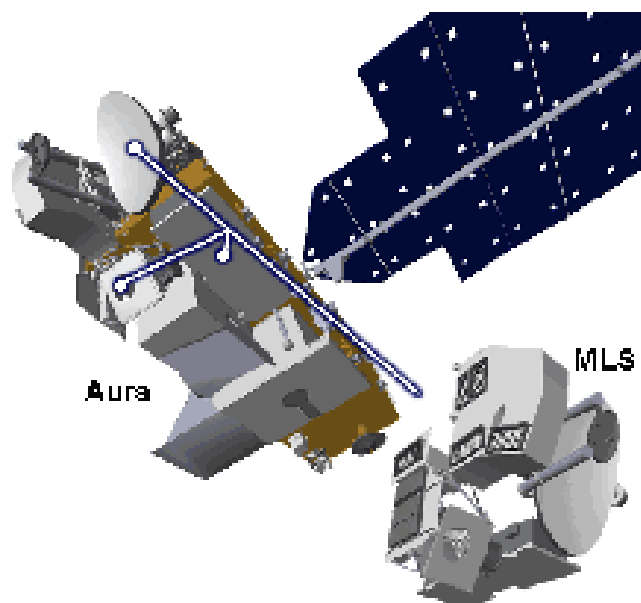
Data profil ozon dan BrO diolah menjadi variasi bulanan, variasi tahunan dan musiman dalam satuan *part per million volume* (ppmv). Kemudian dilakukan pembuatan deret waktu profil vertikal ozon dan BrO, profil musiman ozon dan BrO, dan korelasi ozon dengan BrO.

Metode korelasi yang digunakan adalah Korelasi Pearson dengan rumus yang ditunjukkan pada persamaan 2-1 berikut ini.

$$r = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}\right)}} \quad (2-1)$$

Koefisien korelasi (r) digunakan untuk mengetahui kuat atau tidaknya hubungan antara variabel-variabel bebas dan variabel tidak bebas. Nilai koefisien korelasi berada antara 1 dan -1 (-1 ≤ r ≤ 1). Variabel-variabel dikatakan memiliki korelasi yang kuat jika nilai koefisien korelasinya lebih besar dari 0,5 atau lebih kecil dari -0,5. Jika nilai koefisien korelasinya positif berarti kenaikan (penurunan) nilai variabel bebas pada umumnya diikuti oleh kenaikan (penurunan) nilai variabel tidak bebas, sedangkan jika nilai koefisien korelasinya negatif berarti kenaikan (penurunan) nilai variabel bebas pada umumnya diikuti oleh penurunan (kenaikan) nilai variabel tidak bebas. Adapun rumus perhitungan untuk menentukan koefisien korelasi r antara variabel tidak bebas Y terhadap variabel bebas X ditunjukkan pada persamaan 2-1 (Gaspersz, 1992). Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data hasil observasi sensor MLS satelit AURA milik NASA Amerika. *Microwave Limb Sounder* (MLS)

merupakan bagian dari *Earth Observing System* (EOS) dan merupakan satu dari empat instrumen yang ditempatkan pada satelit AURA yang diluncurkan pada 15 Juli 2004.



Gambar 2-1: Instrumen MLS pada satelit AURA (<http://mls.jpl.nasa.gov/index-eos-mls.php>)

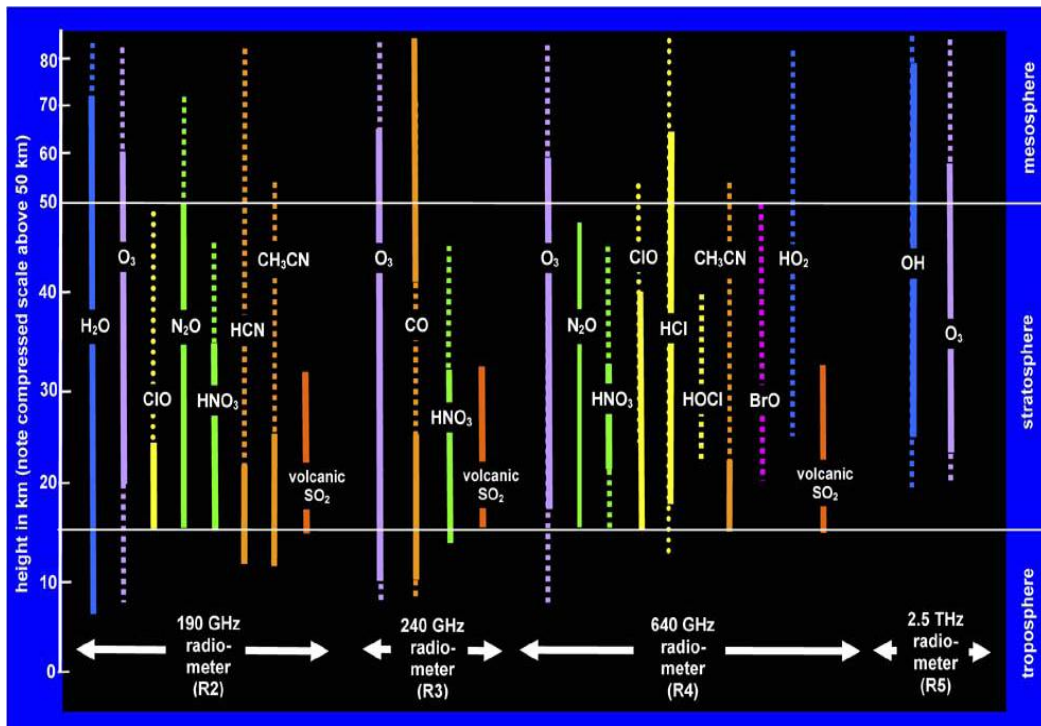
MLS melakukan pengukuran komposisi atmosfer, temperatur, kelembapan dan awan es yang dibutuhkan untuk mengetahui kestabilan lapisan ozon, memprediksi perubahan iklim dan variabilitasnya, serta mengembangkan pemahaman mengenai kualitas udara. MLS mengamati radiasi termal pada gelombang mikro yang dipancarkan Bumi, merekam data dari permukaan hingga 90 km setiap 25 detik. Pengukuran oleh MLS dilakukan secara global pada siang dan malam hari (<http://mls.jpl.nasa.gov/index-eos-mls.php>).

EOS MLS mengukur emisi termal dari pita spektrum yang luas terpusat pada frekuensi 118, 190, 240, 640 dan 2250 GHz yang diukur terus menerus (24 jam sehari) dengan 7 penerima gelombang mikro. MLS mengukur profil vertikal ozon dan komponen atmosfer lainnya dengan lebih akurat hingga ke lapisan stratosfer bawah. MLS/AURA memiliki resolusi vertikal mendekati 3 km di stratosfer dengan resolusi horisontal 200 km (<http://mls.jpl.nasa.gov/eos/instrument.php>). Resolusi horisontal ini menghasilkan cakupan wilayah observasi MLS meliputi 82 derajat lintang selatan hingga 82 derajat lintang utara. MLS mengukur profil vertikal pada 3500 lokasi di dunia setiap 24 jam (Ahmad et al., 2006).

MLS menyediakan data hasil pengukuran di siang hari dan malam hari secara global untuk profil vertikal beberapa komponen kimia atmosfer (O_3 , HCl, ClO, HOCl, BrO, OH, H_2O , HO_2 , HNO_3 , N_2O , CO, HCN, CH_3CN , vulkanik SO_2), awan es, dan temperatur atmosfer. MLS EOS AURA merupakan pengembangan dari UARS MLS dengan resolusi spasial yang lebih baik dan cakupan yang lebih luas dibandingkan instrumen UARS MLS, termasuk pengukuran profil vertikal dan kemampuan untuk mendeteksi senyawa-senyawa kimia baru yang belum pernah dideteksi oleh instrumen-instrumen sebelumnya (OH, HO_2 , dan BrO) (Ahmad et al., 2006).

Instrumentasi MLS dilengkapi dengan empat jenis radiometer (Gambar 2-2) yang dioperasikan pada temperatur ambien pada lima daerah spektrum yang terdiri dari radiometer 118 GHz (R1) mendeteksi spektrum O_2 termasuk mengukur temperatur dan tekanan, radiometer 190 GHz (R2) berperan dalam mengukur spektrum H_2O pada 183 GHz juga untuk mengukur spektrum HNO_3 , radiometer 240 GHz (R3) mengukur spektrum O_3 pada troposfer atas dan untuk mengukur CO, radiometer 640 GHz berperan dalam mengukur sinyal spektrum yang lemah dari molekul HCl, spektrum

rotasi ClO dan spektrum BrO, HO₂, dan N₂O, radiometer 2,5 THz (R5) dipilih untuk mengukur spektrum OH pada 2,510 dan 2,514 THz (Waters *et al.*, 2006).



Gambar 2-2: Spektrum pengukuran untuk masing-masing komponen kimia oleh Radiometer pada MLS (Waters *et al.*, 2006)

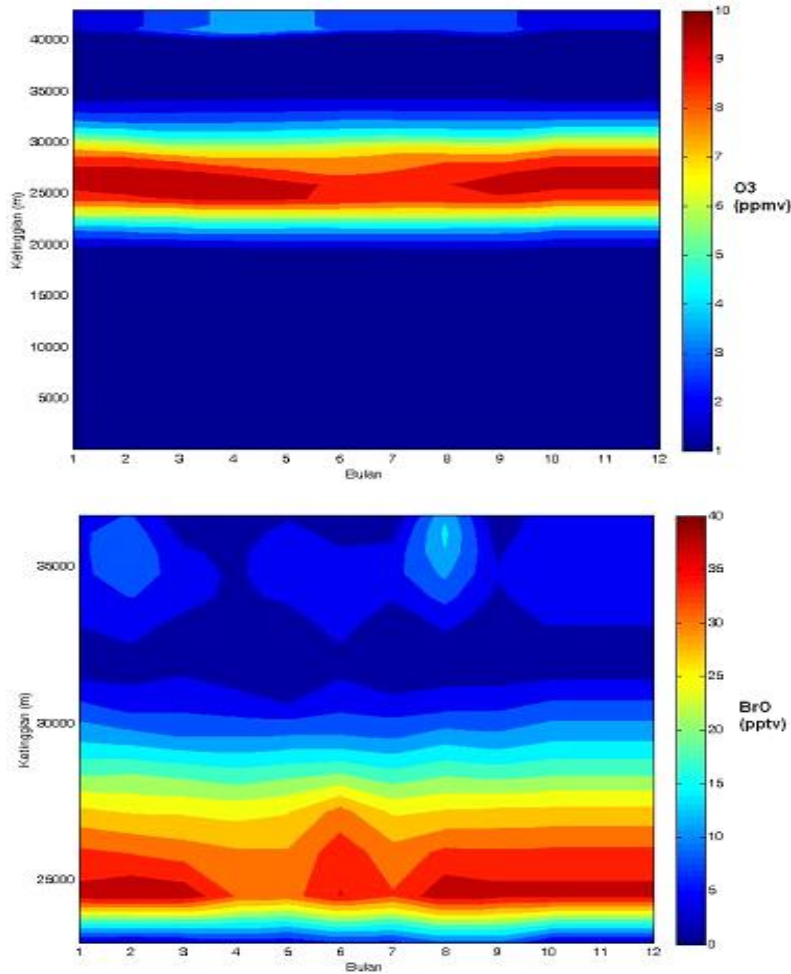
3 HASIL DAN ANALISIS

3.1 Analisis Temporal Profil Vertikal Ozon dan BrO Tahun 2005-2010

Deret waktu ozon terhadap ketinggian memperlihatkan distribusi ozon yang dominan pada ketinggian 25 hingga 30 km dengan konsentrasi maksimum mencapai 10 ppmv (Gambar 3-1). Konsentrasi ozon di stratosfer terlihat sangat tinggi pada bulan-bulan Januari hingga Mei, kemudian berkurang pada bulan Juni-Juli dan meningkat kembali pada bulan Agustus hingga Desember. Pola ini sejalan dengan perubahan posisi matahari yang menjauhi ekuator saat bulan Juni-Juli yang membuat reaksi pembentukan ozon menjadi lebih lambat. Akibatnya, konsentrasi ozon menjadi lebih rendah. Puncak profil ozon terjadi pada tekanan 10 hPa atau pada ketinggian 25,9 km di atas permukaan Bumi dengan rentang konsentrasi 9 hingga 10 ppmv.

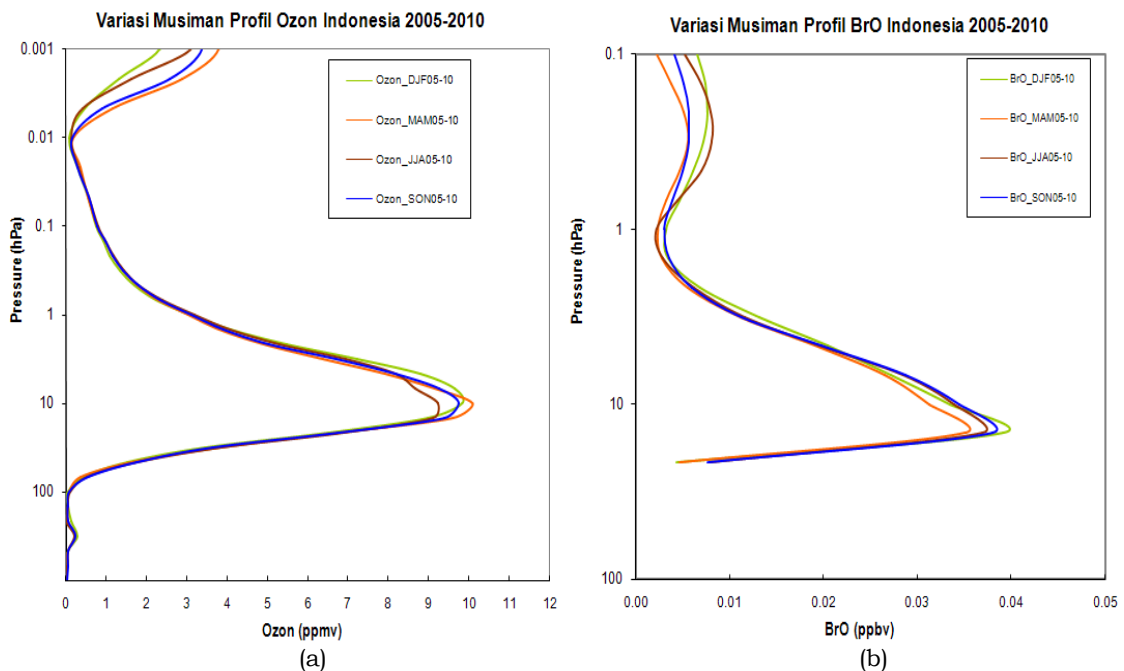
Deret waktu rata-rata bulan konsentrasi BrO terhadap ketinggian menunjukkan distribusi BrO dominan pada ketinggian 23 hingga 26 km di atas permukaan Bumi. Konsentrasi BrO tertinggi terjadi pada tekanan 14 hPa atau pada ketinggian 24,5 km di atas permukaan Bumi dengan interval konsentrasi 0,005 hingga 0,04 ppbv (10⁻⁹) atau 100.000 kali lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi ozon.

Variasi musiman profil ozon Indonesia yang ditampilkan pada Gambar 3-2a menunjukkan ozon maksimum terjadi pada tekanan 10 hPa, ozon minimum terjadi pada bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) 2005-2010 dengan konsentrasi 9 ppmv. Ozon stratosfer maksimum terjadi pada bulan Maret-April-Mei (MAM) 2005-2010 dengan konsentrasi 10 ppmv. Saat musim kemarau intensitas matahari yang tinggi dan jumlah uap air yang minimum membuat ozon di troposfer meningkat. Tidak demikian dengan ozon stratosfer. Ozon di stratosfer minimum justru pada bulan JJA (Ambarsari dan Yulihastin, 2011). Hal ini mengindikasikan ada pengaruh lain yang mungkin lebih dominan yang menyebabkan ozon di stratosfer minimum justru saat musim kemarau bulan JJA (Ambarsari dan Yulihastin, 2011).



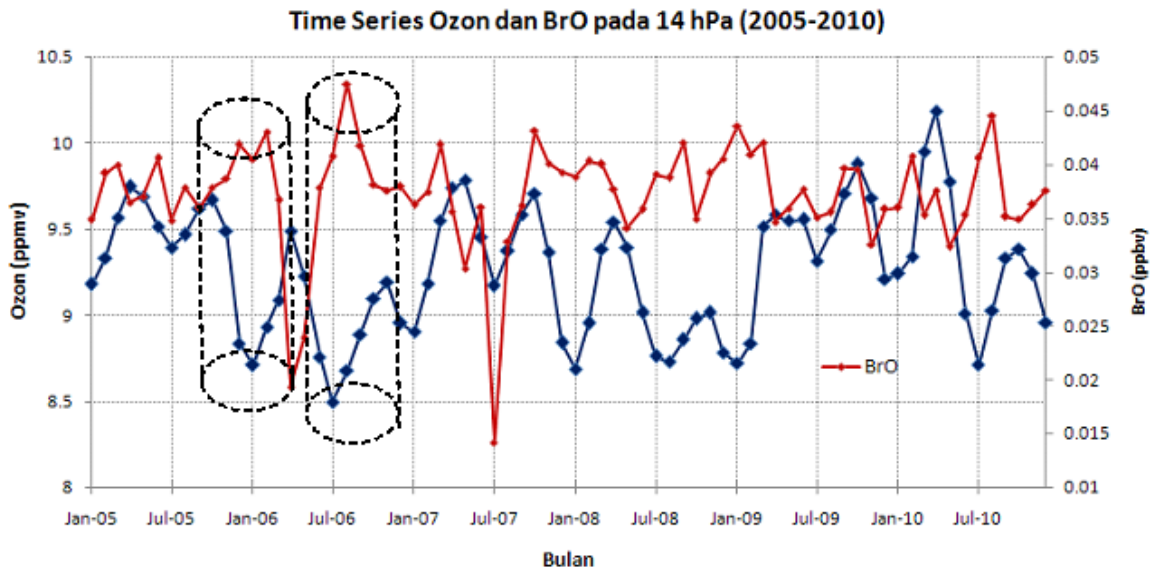
Gambar 3-1: Deret waktu rata-rata bulan profil vertikal ozon (atas) dan BrO (bawah) di Indonesia tahun 2005-2010 terhadap ketinggian

Variasi musiman profil BrO Indonesia yang ditampilkan pada Gambar 3-2b menunjukkan BrO mencapai maksimum pada tekanan 14 hPa pada bulan Desember-Januari-Februari (DJF) dengan konsentrasi 0,04 ppbv dan terendah pada bulan Maret-April Mei (MAM) dengan konsentrasi 0,035 ppbv.



Gambar 3-2: Variasi musiman profil ozon dan BrO di Indonesia tahun 2005-2010

Perbandingan deret waktu ozon dengan BrO untuk nilai rata-rata bulanan dari tahun 2005-2010 pada tekanan 14 hPa saat BrO mencapai maksimum ditunjukkan pada Gambar 3-3. Pola yang berlawanan tampak pada grafik, saat konsentrasi BrO tinggi (bulan Januari dan Juli), konsentrasi ozon cenderung rendah. Sebaliknya, saat konsentrasi BrO rendah, konsentrasi ozon cenderung meningkat. Konsentrasi BrO maksimum terjadi pada bulan Agustus 2006, sedangkan minimum pada bulan Juli 2007. Pola ini diperkirakan menunjukkan hubungan BrO yang terlibat sebagai katalis dalam reaksi perusakan ozon. Semakin besar konsentrasi BrO, ozon akan semakin mudah terurai hingga konsentrasinya menurun. Akan tetapi, kecepatan reaksi penguraian ozon oleh BrO yang sangat dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari diperkirakan menjadi faktor yang menyebabkan kondisi ini tidak berlaku untuk semua periode. Hal ini ditunjukkan dengan adanya perbedaan bias untuk periode yang berbeda sehingga pola yang terjadi sedikit berbeda untuk periode lainnya (Januari 2010 – Juli 2010).



Gambar 3-3: Deret waktu rata-rata bulan ozon dan BrO pada tekanan 14 hPa tahun 2005-2010

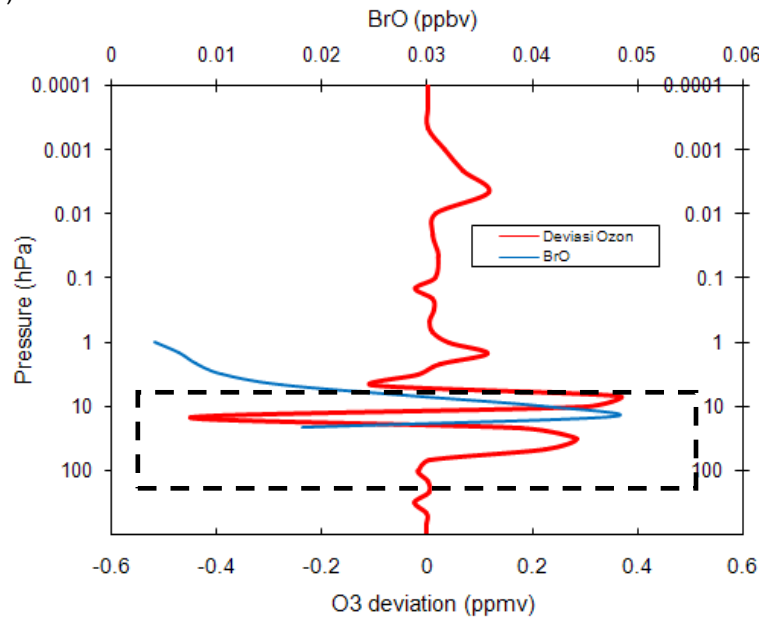
3.2 Analisis Profil Vertikal Ozon Saat BrO Maksimum Bulan Agustus 2006 Dibandingkan dengan Profil Ozon Rata-Rata Bulan Agustus 2005-2010

Pengaruh BrO terhadap ozon juga terlihat pada deviasi profil vertikal ozon saat BrO mencapai maksimum pada bulan Agustus 2006 pada tekanan 14 hPa (Gambar 3-4). Deviasi konsentrasi ozon tampak ekstrem menurun pada tekanan 14 hPa saat BrO mencapai puncak. Deviasi konsentrasi ozon pada ketinggian tersebut mencapai -0,42 ppmv. Hal sebaliknya terjadi saat konsentrasi BrO cenderung menurun, deviasi konsentrasi ozon bergerak positif mengalami peningkatan seperti yang terjadi pada tekanan 10 hPa, deviasi ozon meningkat mencapai 0,4 ppmv.

Pembentukan dan penguraian ozon di stratosfer ditentukan oleh reaksi fotokimia ozon yaitu reaksi yang berjalan dengan bantuan sinar ultraviolet. Pembentukan ozon di stratosfer ditentukan oleh tiga faktor utama, yaitu radiasi ultraviolet, komposisi oksigen di atmosfer, dan absorpsi molekul oksigen (Bergman, 2004).

Selain itu, ada faktor-faktor lain yang mempengaruhi konsentrasi ozon baik secara alami maupun akibat aktivitas manusia. Aktivitas matahari, pengaruh musim, ENSO, QBO, dan antropogenik merupakan faktor-faktor lain yang mempengaruhi konsentrasi ozon total. Saat aktivitas matahari tinggi, konsentrasi ozon total meningkat, begitu juga sebaliknya. Saat musim hujan terjadi konsentrasi ozon menurun akibat berkurangnya intensitas matahari dan adanya uap air yang merusak

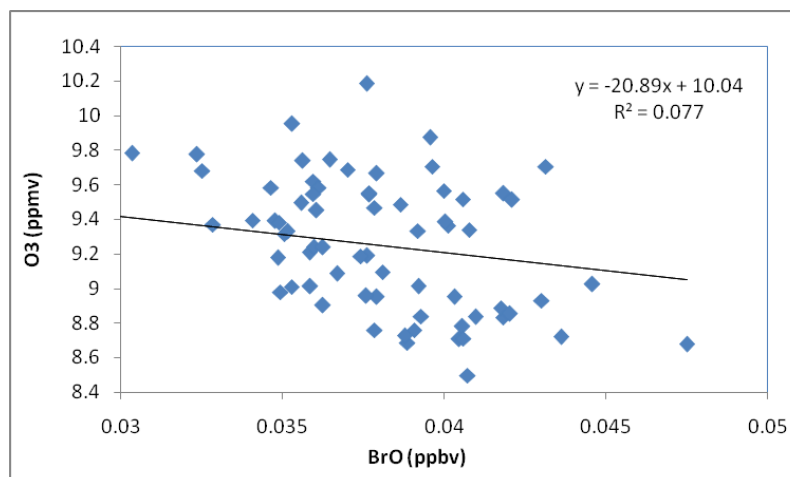
molekul ozon. Pada musim kemarau konsentrasi ozon kembali meningkat karena intensitas matahari yang tinggi mempercepat laju pembentukan ozon (Ambarsari dan Yulihastin, 2011).



Gambar 3-4: Deviasi profil vertikal ozon pada 14 hPa bulan Agustus 2006 terhadap profil ozon rata-rata Agustus 2005-2010

3.3 Analisis Korelasi Ozon dengan BrO

Untuk mengetahui kuantitas hubungan antara BrO dengan ozon, dilakukan analisis regresi linear dan perhitungan korelasi menggunakan metode *Pearson Correlation*. Regresi antara nilai rata-rata bulanan konsentrasi ozon dengan BrO pada tahun 2005-2010 untuk tekanan 14 hPa (Gambar 3-5) menghasilkan nilai *slope* negatif. Hal ini semakin memperjelas hubungan berlawanan antara ozon dengan BrO. Saat BrO meningkat, maka ozon cenderung turun.



Gambar 3-5: Regresi linear O₃ dengan BrO pada 14 hPa untuk tahun 2005-2010

Korelasi BrO terhadap ozon pada setiap level tekanan dihitung untuk mengetahui korelasi yang paling baik antara BrO dengan ozon. Tabel 3-1 berikut ini menunjukkan nilai korelasi BrO terhadap ozon pada tekanan atmosfer 14 hPa untuk sepanjang tahun pengukuran (2005-2010) bulan Januari hingga Desember (a) dan nilai korelasi ozon dengan BrO pada berbagai tekanan untuk waktu observasi yang sama yaitu tahun 2005-2010 bulan Januari hingga Desember (b). Nilai korelasi pada tabel menunjukkan korelasi negatif yang paling baik terjadi pada tekanan 14 hPa saat

konsentrasi BrO di atmosfer maksimum. Hal ini semakin menguatkan teori perusakan molekul ozon dengan katalis BrO berhubungan dengan penurunan konsentrasi ozon stratosfer di Indonesia.

Tabel 3-1: KORELASI BrO TERHADAP OZON PADA TEKANAN 14 hPa MENGGUNAKAN METODE PEARSON CORRELATION (a) DAN KORELASI BrO TERHADAP OZON PADA BERBAGAI TEKANAN (b)

	Ozon	BrO	Tekanan (hPa)	Nilai Korelasi BrO terhadap Ozon
Ozon	Korelasi Pearson	1	-0,218	
	Sig. (1-tailed)		0,033	
	N	72	72	
BrO	Korelasi Pearson	-0,218	1	
	Sig. (1-tailed)	0,033		
	N	72	72	
			21	0,241
			14	-0,218
			10	-0,073
			6	-0,141
			4	0,554
			3	0,348
			2	0,153
			1,4	0,127
			1	-0,088

(a)

(b)

4 KESIMPULAN

BrO diketahui sebagai salah satu senyawa kimia perusak ozon di stratosfer. Pengamatan konsentrasi ozon dan BrO di Indonesia dari tahun 2005 hingga 2010 menunjukkan adanya hubungan berlawanan antara BrO dengan ozon yang terjadi terutama pada tekanan 14 hPa saat konsentrasi BrO mencapai maksimum. Hasil analisis deret waktu konsentrasi BrO dan ozon menunjukkan saat konsentrasi BrO meningkat, konsentrasi ozon cenderung turun. Walaupun pola ini sangat bergantung pada kecepatan reaksi penguraian ozon oleh BrO. Hasil analisis profil vertikal ozon pada bulan Agustus 2006 menunjukkan deviasi negatif yang sangat dominan mencapai -0,42 ppmv pada tekanan 14 hPa. Korelasi Pearson BrO terhadap ozon juga menunjukkan korelasi negatif yang paling baik terjadi pada tekanan 14 hPa sebesar -0,218. Korelasi yang rendah ini kemungkinan disebabkan BrO bukan satu-satu senyawa yang berperan dalam proses penguraian molekul ozon. Berdasarkan perhitungan korelasi Pearson diketahui juga bahwa korelasi antara BrO dengan ozon di setiap ketinggian tidak sama. Di atmosfer bawah, korelasi ozon dengan BrO dominan bernilai positif. Konsentrasi BrO yang lebih kecil di lapisan atmosfer bawah dibandingkan dengan konsentrasi BrO pada tekanan 14 hPa, menyebabkan peran BrO dalam menguraikan ozon tidak semaksimal pada saat konsentrasi BrO mencapai maksimum pada tekanan 14 hPa.

DAFTAR RUJUKAN

- Ahmad, S. P., Waters, J. W., Johnson, J. E., Gerasimov, I. V., Leptoukh, G. G., & Kempler, S. J., 2006. *Atmospheric Composition Data Products from the EOS Aura MLS*, Proc. Amer. Meteorological Soc. Eighth Conf. on Atmospheric Chemistry, Atlanta, Georgia, 2006 Jan 28 - Feb 3.
- Ambarsari N., Yulihastin E., 2011. *Pengaruh Osilasi Tahunan dan ENSO Terhadap Variabilitas Ozon Total Indonesia*, Jurnal Teknologi Indonesia Vol. 34, LIPI Press.

- Bergman, 2004. *Ozone in The Stratosphere*, University of Michigan, http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/Atmosphere/ozone_strato.htm, tanggal akses 28 Februari 2013.
- Gaspersz, V., 1992. *Teknik Analisis dalam Penelitian Percobaan*, Penerbit Tarsito Bandung, 1-6.
- Matveev V., Peleg M., Rosen D., Tov-Alper S. D., Hebestreit K., Stutz J., Platt U., Blake D., and Luria M., 2001. *Bromine Oxide-Ozone Interaction Over the Dead Sea*, Journal of Geophysical Research, Vol. 106 p. 10.375-10387.
- Mc.Conell, J.C., 2008. *Stratospheric Ozone Chemistry*, Atmosphere-Ocean vol. 46 (1) 2008 : 69-92.
- MLS instrument, <http://mls.jpl.nasa.gov/index-eos-mls.php>, tanggal akses 28 Februari 2013.
- NASA, 2001. *The Ozone Layer*, Educational Resources, [www.nasa.gov/ About/Education/Ozone/](http://www.nasa.gov/About/Education/Ozone/), tanggal akses 28 Februari 2013.
- Theys N, Roozendael M.V, 2009. *First Satellite Detection of Volcanic Bromine Monoxide Emission After the Kasatochi Eruption*, Geophysical Research Letters, Vol. 36, L03809, doi:10.1029/2008GL036552.
- Vogel B., Muller R., A. Engel , J.-U. Grooß, D. Toohey, T. Woyke, and F. Stroh, 2005. *Midlatitude ClO During the Maximum Atmospheric Chlorine Burden: In Situ Balloon Measurements and Model Simulations*, Atmos. Chem. Phys., 5, 1623-1638.
- Waters J.W, Froidevaux L, Harwood R.S, 2006. *The Earth Observing System Microwave Limb Sounder (EOS MLS) on The Aura Satellite*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 44, No. 5.