

PROFIL VERTIKAL *HYDROPEROXYL RADICAL* (HO₂) DI INDONESIA HASIL PENGUKURAN MLS AURA

Novita Ambarsari, Fanny Aditya Putri, dan Ninong Komala
Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN
novita.ambarsari@lapan.go.id, novitaambar@yahoo.com

ABSTRAK

Hydroperoxyl radical (HO₂) merupakan salah satu senyawa radikal golongan HO_x yang berperan dalam merusak ozon di stratosfer. Penelitian ini mengkaji profil vertikal HO₂ di atmosfer Indonesia hasil pengukuran instrumen *Microwave Limb Sounder* (MLS) AURA. Data yang digunakan adalah data tahun 2010-2011. Penentuan profil vertikal, variasi bulanan dan musiman untuk tekanan kunci saat HO₂ mencapai puncak yaitu pada tekanan 0,1 hPa hingga 0,02 hPa di lapisan mesosfer serta pada tekanan 31,62 hingga 21,54 hPa di lapisan stratosfer, juga analisis korelasi ozon dan HO₂ di lapisan stratosfer telah dilakukan. Hasil penelitian ini menunjukkan profil vertikal HO₂ mencapai puncak pada ketinggian 70 km (mesosfer) dengan konsentrasi mencapai 1,9 ppbv, sedangkan di stratosfer puncak konsentrasi HO₂ terjadi pada ketinggian 24 – 27 km dengan nilai sebesar 0,2 hingga 0,4 ppbv. Variasi bulanan menunjukkan bulan Maret konsentrasi HO₂ paling tinggi sedangkan bulan Juni adalah titik terendah. Variasi musiman menunjukkan bulan MAM konsentrasi HO₂ tertinggi, sedangkan saat JJA paling rendah. Koefisien korelasi musiman ozon dan HO₂ di stratosfer berkisar antara -0,154 hingga -0,256.

Kata-kata kunci: HO₂, MLS, AURA

ABSTRACT

Hydroperoxyl radical (HO₂) is one of the main classes of HO_x radical compounds that play a role in ozone depletion in the stratosphere. This study examines the vertical profiles of atmospheric HO₂ Indonesia based on *Microwave Limb Sounder* (MLS) AURA instrument measurement results. The data used is the data in 2010-2011. Determination of vertical profiles, monthly and seasonal variations on the key pressure when HO₂ reaches its peak value at pressure 0,1 until 0,02 hPa on mesosphere layer and at pressure 31,62 until 21,54 hPa on stratosphere layer also performed a correlation analysis of ozone and HO₂ in the stratosphere has been done. The results of this study show vertical profiles HO₂ reached the peak at an altitude of 70 km

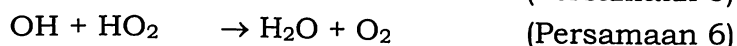
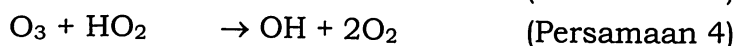
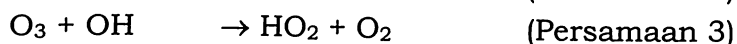
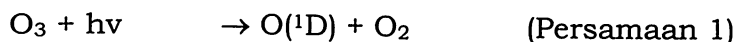
(mesosphere) with a concentration of 1.9 ppbv, while the peak value occurs in the stratosphere at an altitude of 24-27 km with a concentration of 0.2 to 0.4 ppbv. Monthly variation shows the highest concentration of HO₂ is occurred on March while June is the lowest point. Seasonal variation in the MAM show the highest concentration of HO₂, while when JJA it's the lowest. Seasonal correlation coefficients in the stratospheric ozone and HO₂ ranged from -0.154 to -0.256.

Keywords: HO₂, MLS, AURA

1 PENDAHULUAN

Observasi yang kontinyu untuk mengukur HO₂ dan beberapa senyawa radikal lainnya yang dilakukan oleh instrument *Microwave Limb Sounder* (MLS) yang ditempatkan pada satelit AURA sejak 15 Juli 2004, menciptakan kesempatan untuk melakukan penelitian dan memahami mengenai karakteristik profil HO₂ di stratosfer (Canty dkk.,2006). Penelitian yang dilakukan oleh Canty dkk., 2006 yang membandingkan hasil observasi MLS AURA dan model fotokimia untuk profil vertikal HO₂. Hasil penelitian tersebut menunjukkan profil HO₂ maksimum terjadi pada ketinggian sekitar 30 km dengan konsentrasi sebesar $2 \cdot 10^7$ mol/cm³.

HO₂ merupakan bagian dari HO_x (OH + HO₂) yang berperan dalam proses katalisis reaksi penguraian ozon pada ketinggian di atas 40 km dan di bawah 25 km (Wang dkk., 2008). HO₂ di stratosfer terbentuk melalui inisiasi oksidasi uap air oleh atom oksigen berenergi tinggi O(¹D) yang berasal dari reaksi fotolisis ozon oleh sinar UV dan menghasilkan radikal OH. Radikal OH yang terbentuk kemudian bereaksi menguraikan ozon menghasilkan HO₂ dan O₂. HO₂ yang terbentuk selanjutnya terlibat juga dalam proses penguraian molekul ozon menghasilkan kembali radikal OH dan O₂. Hasil akhir serangkaian reaksi tersebut adalah penguraian molekul ozon menjadi molekul oksigen dan pada akhirnya HO₂ juga akan hilang melalui reaksi antara HO₂ dan OH menghasilkan H₂O. Hal ini juga sekaligus sebagai akhir dari reaksi penguraian ozon berkatalisis HO_x. Persamaan reaksi tersebut dituliskan berikut ini (Mao, J. dkk., 2010 dan Staufer J, 2013).



Penelitian ini diperlukan karena selama ini penelitian internasional mengenai penguraian ozon melalui siklus katalitik ClO_x , NO_x , dan HO_x hanya terfokus pada wilayah kutub dan lintang tengah. Berdasarkan teori reaksi kimia yang dijelaskan sebelumnya, proses penguraian ozon memungkinkan terjadi juga di wilayah ekuator termasuk Indonesia, walaupun dengan persentase yang lebih kecil dibandingkan penguraian di kutub dan lintang tengah karena tidak adanya *Polar Stratospheric Cloud* (PSC) yang berperan sebagai reservoir senyawa-senyawa radikal yang berperan merusak ozon (Igor, 2005).

Penelitian ini menyajikan profil vertikal rata-rata harian, bulanan, musiman, dan tahunan HO_2 di lapisan stratosfer di Indonesia hasil observasi instrumen MLS AURA. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji mengenai profil vertikal HO_2 di atmosfer Indonesia dan variabilitasnya secara temporal (bulanan dan musiman) untuk semua level tekanan maupun ditekanan tertentu saat konsentrasi HO_2 meningkat. Penelitian ini juga melihat kemungkinan terjadinya defisiensi di lapisan stratosfer yang ditentukan dari nilai koefisien korelasi ozon dan HO_2 .

2 DATA DAN METODOLOGI

2.1 Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data profil vertikal HO_2 hasil observasi instrument MLS AURA untuk wilayah Indonesia ($6^\circ \text{LU} - 11^\circ \text{LS}$, $95^\circ \text{BT} - 145^\circ \text{BT}$) yang dapat diperoleh dari website MIRADOR (www.mirador.gsfc.nasa.gov). Data yang diperoleh merupakan data harian dengan rentang data yang digunakan adalah tahun 2010 hingga 2011. Format data yang disediakan adalah dalam bentuk *Hierarchical Data Format* (HDF) yang memuat nilai konsentrasi HO_2 , lintang dan bujur, serta tekanan atmosfer. Penelitian ini juga menggunakan data

profil vertikal ozon dari MLS AURA untuk wilayah dan tahun yang sama.

MLS mengukur profil vertikal ozon dan komponen kimia lainnya dengan lebih akurat. 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. 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 (Ahmad dkk., 2006).

2.2 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini adalah mengekstrak data HO_2 dan tekanan atmosfer dari data HDF menjadi data *excel* dengan *software* MATLAB kemudian melakukan perhitungan rata-rata harian, bulanan, dan musiman. Selanjutnya dibuat plot profil vertikal HO_2 berdasarkan variasi temporal tersebut. Variasi bulanan konsentrasi HO_2 diketahui dengan membuat diagram *time series* rata-rata bulanan terhadap ketinggian pada ketinggian 20-80 km (stratosfer hingga mesosfer).

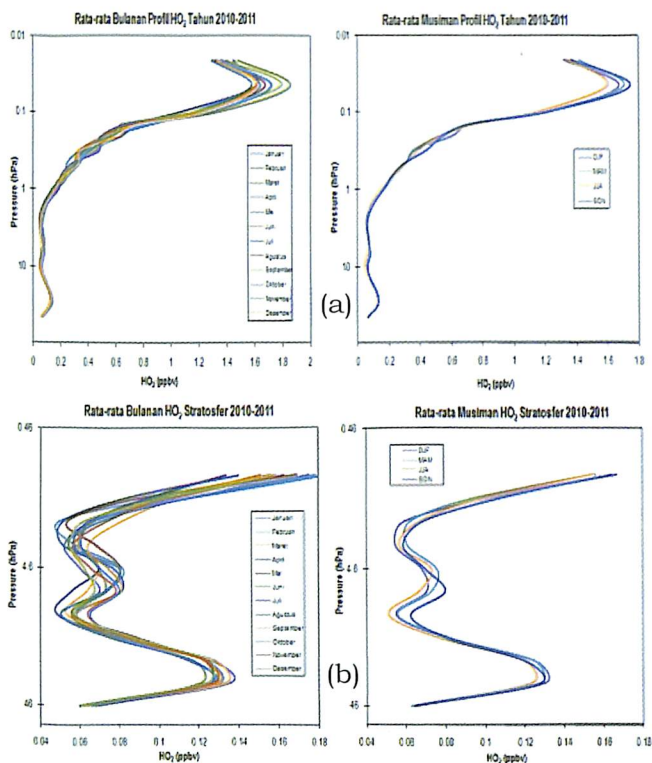
Setelah diketahui level tekanan kunci (*key level pressure*) saat konsentrasi HO_2 mencapai puncak (0,1 – 0,02 hPa dan 31,62 – 21,54 hPa), dibuat plot variasi bulanan dan musiman konsentrasi HO_2 pada tekanan tersebut. Setelah itu dibuat juga profil rata-rata musiman ozon stratosfer tahun 2010-2011, lalu dibuat korelasi HO_2 terhadap ozon di lapisan stratosfer.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

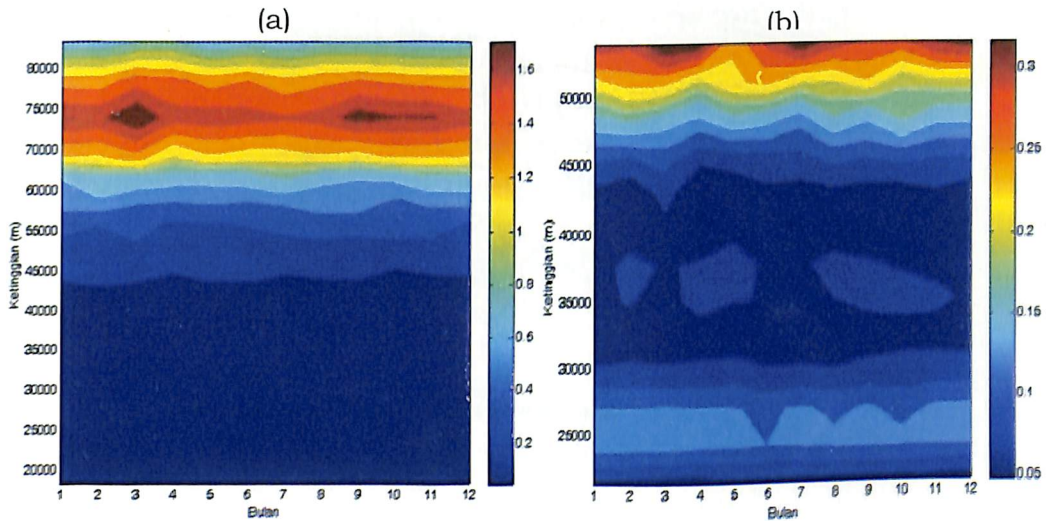
Profil vertikal bulanan dan musiman HO_2 tahun 2010-2011 (Gambar 1 (a)) di lapisan stratosfer hingga mesosfer (20-80 km atau 46 hingga 0,02 hPa) menunjukkan konsentrasi HO_2 dominan tinggi di lapisan mesosfer yaitu pada tekanan 0,1 hPa hingga 0,02 hPa atau ketinggian 60 – 80 km dengan nilai mencapai 1,8 ppbv, sedangkan di lapisan stratosfer (20-60 km atau 46 hingga 0,1

hPa) konsentrasi HO₂ cenderung lebih kecil hanya mencapai 0,18 ppbv.

Profil vertikal HO₂ di stratosfer tampak lebih jelas pada Gambar 1(a) yang memperlihatkan konsentrasi HO₂ meningkat seiring dengan meningkatnya ketinggian atau menurunnya tekanan kemudian membentuk puncak pada tekanan antara 31,62 hingga 21,54 hPa atau ketinggian 24 hingga 27 km. Konsentrasi HO₂ pada tekanan tersebut sekitar 0,2 hingga 0,4 ppbv. Hal yang sama ditunjukkan pada Gambar 2. Diagram *time series* rata-rata bulanan konsentrasi HO₂ terhadap ketinggian untuk lapisan stratosfer hingga mesosfer (a) dan lapisan stratosfer saja (b) menunjukkan bahwa konsentrasi HO₂ sangat tinggi pada ketinggian 70 km hingga mencapai 1,8 ppbv. Pada lapisan stratosfer di ketinggian 25 km juga tampak adanya peningkatan konsentrasi HO₂ dengan nilai sekitar 0,15 ppbv.



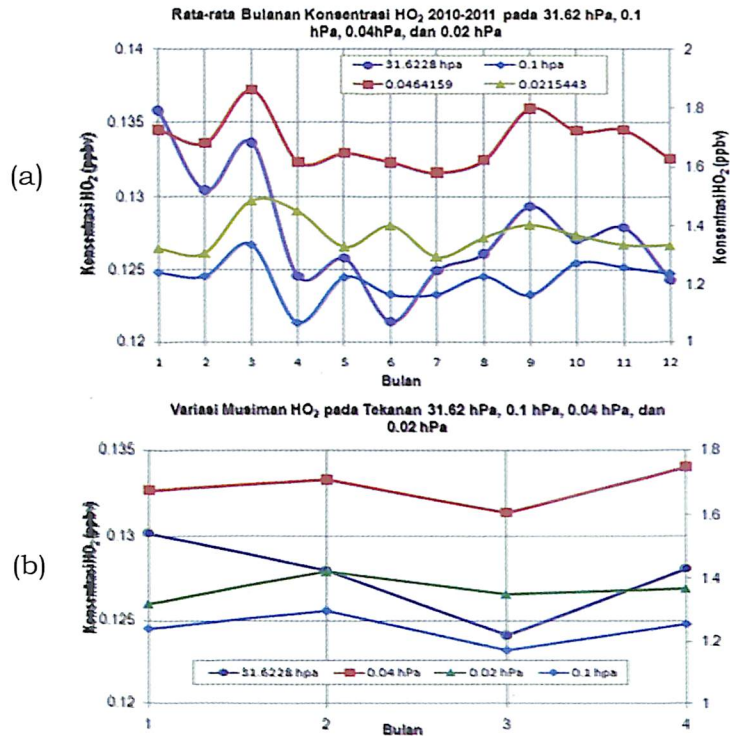
Gambar 1. (a) Profil rata-rata bulanan HO₂ hingga tekanan 0,01 hPa dan (b) Profil rata-rata bulanan HO₂ stratosfer (46 – 1 hPa) tahun 2010-2011.



Gambar 2. Diagram *time series* rata-rata bulanan konsentrasi HO_2 (ppbv) terhadap ketinggian tahun 2010-2011 (a) stratosfer-mesosfer (b) stratosfer.

Konsentrasi HO_2 tertinggi terjadi pada tekanan 0,046 hPa atau ketinggian sekitar 70 km (Gambar 1 (a)). Range konsentrasi HO_2 tertinggi setiap bulannya yaitu antara 1,6 hingga 1,9 ppbv. Bulan Maret konsentrasi HO_2 pada tekanan 0,046 hPa (Gambar 3 (a)) mencapai nilai maksimum yaitu sebesar 1,9 ppbv dan minimum terjadi pada bulan Juli sebesar 1,6 ppbv.

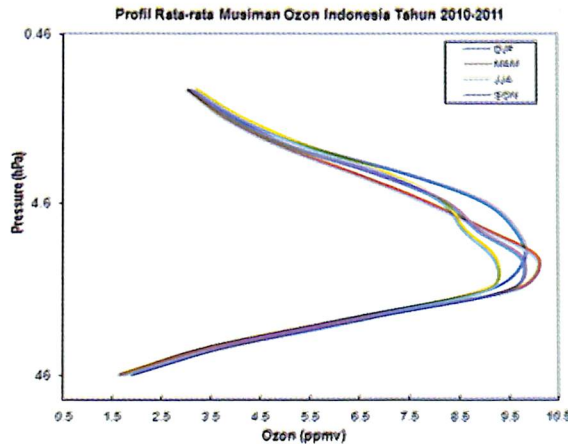
Sumber HO_2 di lapisan atmosfer atas terutama dari proses fotodisosiasi molekul air (H_2O) oleh radiasi UV, sehingga besarnya konsentrasi uap air dan jumlah energi matahari yang diterima atmosfer menjadi penentu dalam kuantitas HO_2 di atmosfer atas. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kulikov, dkk., 2009 diketahui bahwa profil vertikal uap air mencapai puncak konsentrasi tertinggi pada ketinggian antara 70 hingga 80 km dengan nilai sebesar 8 ppmv. Konsentrasi uap air yang tinggi menjadi penyebab tingginya konsentrasi HO_2 pada ketinggian yang sama.



Gambar 3. Variasi bulanan (atas) dan musiman (bawah) konsentrasi HO₂ pada tekanan 31,62 hPa, 0,1 hPa, 0,04 hPa, dan 0,02 hPa.

Pada bulan Maret dan September, matahari mencapai titik ekinoks (titik terdekat dengan Bumi) sehingga radiasi yang diterima atmosfer lebih besar dibanding bulan-bulan lainnya sehingga menghasilkan konsentrasi HO₂ juga yang lebih tinggi. Hal ini terlihat pada variasi bulanan dan musiman konsentrasi HO₂ pada tekanan 31,62 hPa, 0,1 hPa, 0,04 hPa, dan 0,02 hPa (Gambar 3 (a) dan (b)). Pada bulan Maret dan September, konsentrasi HO₂ lebih tinggi dibandingkan dengan bulan lainnya. Begitu juga variasi musiman yang menunjukkan konsentrasi HO₂ lebih tinggi pada bulan MAM (Maret-April-Mei). Pada bulan JJA (Juni-Juli-Agustus), konsentrasi HO₂ lebih rendah. Hal ini disebabkan pada bulan Juni, matahari mencapai titik terjauh dari Bumi sehingga energi radiasi yang diperlukan untuk reaksi fotodisosiasi H₂O lebih kecil (Ambarsari dan Yulihastin, 2011). Hal yang sama dijelaskan juga oleh Canty, dkk. (2006) bahwa perbedaan nilai pada puncak konsentrasi HO₂ disebabkan adanya variasi musiman deklinasi matahari.

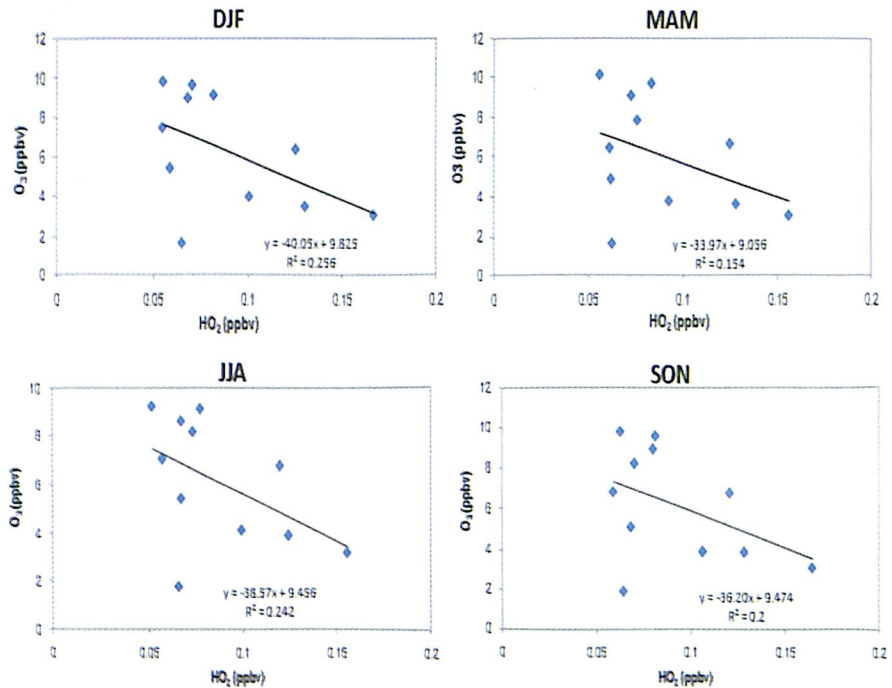
Keberadaan HO_x di lapisan stratosfer berperan sebagai salah satu katalis dalam reaksi penguraian ozon. Variasi musiman profil vertikal ozon stratosfer di lapisan stratosfer yaitu pada tekanan 46 hPa hingga 1 hPa atau dari ketinggian 22 km hingga 50 km (Gambar 4) mencapai puncak pada tekanan 10 hPa atau ketinggian sekitar 30 km.



Gambar 4. Variasi musiman profil vertikal ozon stratosfer (46 hPa hingga 1 hPa atau 22 km hingga 50 km) tahun 2010-2011.

Nilai ini sesuai dengan validasi profil vertikal ozon hasil observasi MLS AURA yang dilakukan oleh Froidevaux, dkk. (2008) yang menghasilkan profil vertikal ozon di wilayah ekuator mencapai puncak pada tekanan 10 hPa dengan konsentrasi mencapai 10 ppmv. Pada penelitian ini, konsentrasi ozon mencapai puncak pada tekanan 10 hPa dengan konsentrasi tertinggi pada bulan MAM (Maret-April-Mei) sebesar 10,086 ppmv sedangkan terendah pada bulan JJA (Juni-Juli-Agustus) sebesar 9,224 ppmv. Variasi musiman profil vertikal ozon ini juga didominasi oleh pergerakan matahari.

Korelasi ozon dan HO₂ di stratosfer menjadi salah satu indikator paling sederhana untuk melihat kecenderungan ozon dan HO₂. Korelasi musiman ozon dan HO₂ di lapisan stratosfer yaitu pada tekanan 46 hPa hingga 1 hPa menghasilkan korelasi negatif dengan nilai koefisien korelasi yang terendah yaitu 0,154 pada bulan MAM dan yang tertinggi sebesar 0,256 pada bulan DJF (Gambar 5). Pada bulan JJA koefisien korelasi HO₂ terhadap ozon yaitu sebesar 0,242 dan 0,2 pada bulan SON.



Gambar 5. Korelasi musiman ozon dengan HO₂ di stratosfer (46 hingga 1 hPa) 2010-2011.

Nilai koefisien korelasi ini dapat menunjukkan dua makna, yang pertama yaitu tidak adanya hubungan bermakna antara HO₂ dengan ozon atau terdapat hubungan antara HO₂ dengan ozon yang dapat dijelaskan sebesar 15,4 % hingga 25,6 %. Makna yang kedua diperkirakan lebih tepat karena secara teori HO₂ berperan dalam menguraikan ozon. Ozon terurai melalui siklus katalitik HO_x, NO_x, ClO_x, dan BrO_x serta melalui reaksi pemutusan ikatan molekul ozon oleh radiasi UV sehingga HO₂ hanya berperan sebesar 15,4 % hingga 25,6 % dari keseluruhan proses penguraian ozon. Sebagian besar lainnya ditentukan juga oleh peran katalis-katalis yang lain yaitu radikal NO_x, ClO_x, BrO_x serta proses penguraian ozon secara alami melalui fotolisis oleh radiasi UV.

Hal yang sama dijelaskan oleh Nair (2012) dalam penelitian disertasi bahwa hasil perhitungan menggunakan model NASA/GSFC 2D menunjukkan bahwa kontribusi HO_x (HO₂ + OH) terhadap penguraian ozon di ketinggian sekitar 20-30 km di wilayah ekuator adalah sebesar 20-50 %.

4 KESIMPULAN

Profil vertikal HO₂ di Indonesia tahun 2010-2011 memiliki pola konsentrasi yang rendah di lapisan stratosfer (20-60 km) dan konsentrasi yang tinggi di lapisan mesosfer (60-80 km). Konsentrasi HO₂ di mesosfer mencapai puncak pada ketinggian 70 km atau tekanan 0,046 hPa dengan nilai 1,9 ppbv pada bulan Maret. Pada bulan Juli, konsentrasi HO₂ pada puncaknya mengalami nilai terendah yaitu 1,6 ppbv. Variasi musiman profil HO₂ menunjukkan nilai konsentrasi pada 0,046 hPa mencapai konsentrasi tertinggi pada bulan MAM (Maret-April-Mei) dan terendah pada bulan JJA (Juni-Juli-Agustus). Pergerakan matahari dan konsentrasi H₂O yang berperan sebagai sumber di atmosfer menentukan jumlah HO₂ di atmosfer atas. HO₂ sebagai katalis dalam proses perusakan ozon di stratosfer ditunjukkan dengan korelasi musiman yang negatif dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,256 untuk DJF, 0,154 untuk MAM, 0,242 untuk JJA, dan 0,2 untuk SON. Nilai koefisien korelasi ini menunjukkan bahwa HO₂ hanya berperan sebesar 15,4 % hingga 25,6 % dalam menguraikan ozon, karena reaksi penguraian ozon juga melibatkan radikal NO_x, ClO_x, BrO_x serta reaksi penguraian secara alami melalui reaksi fotolisis.

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, 1-8.*
- Ambarsari, N., and Yulihastin, E., 2011: Pengaruh Osilasi Tahunan dan ENSO terhadap Variabilitas Ozone Total Indonesia. *Jurnal Teknologi Indonesia LIPI, 34*, 90-97.
- Canty, T., Picket, H.M., Salawitch, R.J., Jucks, K.W., Traub, W.A., and Waters, J.W., 2006: Stratospheric and Mesospheric HO_x Result From AURA MLS and FIRS-2. *Geophys. Res. Letter, 33*, 1-5.
- Froidevaux L., Jiang Y.B., Lambert a., 2008: Validation of AURA Microwave Limb Sounder Stratospheric Ozone Measurements. *Journal of Geophysical Research., 113*, 1-24.
- Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, www.mirador.gsfc.nasa.gov.
- Igor G. Dyominov, Alexander M. Zadorozhny, 2005: Greenhouse

- gases and recovery of the Earth's ozone layer. *Elsevier, Advances in Space Research*, **35**, 1369–1374.
- Kulikov, M.Y., Feigin, A.M., dan Sonnemann, G.R., 2009: Retrieval of Water Vapour Profile in Mesosphere from Satellite Ozone and Hydroxyl Measurements by the Basic Dynamic Model of Mesospheric Photochemical System. *Atmos.Chem.Phys.*, **9**, 8199-8210.
- Mao, J., Jacob, D.J., Evans, M.J., et.all., 2010: Chemistry of Hydrogen Oxide Radicals (HO_x) in the Arctic Troposphere in Spring. *Atmos. Chem. Phys.*, **10**, 5823-5838.
- Microwave Limb Sounder, <http://mls.jpl.nasa.gov/index-eos-mls.php>, tanggal akses 10 Juni 2014.
- Nair, P.J., 2012: Evolution of Stratospheric Ozone in the Mid-Latitudes in Connection With The Abundances of Halogen Compounds. Ph.D. *Dissertation, University of Piere and Marie Curie, Paris*, 163 pp.
- Staufer, J., 2013: Analysis of Ozone in the Upper Troposphere/Lower Stratosphere Based on Ozonsondes nad Regular Aircraft Meaesurement. Ph.D. *Dissertation, University of Vienna Austria*, 138 pp.
- Wang, S., Pickett, H.M., et.all, 2008: Validation of AURA MLS OH Measurement with Fourier Transform UV Spectrometer Total OH Coloumn Measurement at Table Mountain, California. *J. Geophys. Research*, **113**, 1-15.