



## PENGARUH BILANGAN SUN SPOT (SSN) TERHADAP VARIASI OZON DI LAPISAN MESOSFER DAN TERMOSFER INDONESIA

(Influence of Sun Spot Number (SSN) On Ozone Variation In Mesosphere And Thermosphere Layer of Indonesia)

Ninong Komala dan Novita Ambarsari  
Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer (PSTA),  
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional  
e-mail: [ninong.komala@lapan.go.id](mailto:ninong.komala@lapan.go.id)

### ABSTRAK

#### Riwayat Artikel:

Diterima: 19-11-2015  
Direvisi: 16-10-2016  
Disetujui: 19-10-2016  
Diterbitkan: 24-10-2016

#### Kata kunci:

Bilangan sun spot, MLS AURA, ozon, SILSO.

Telah dilakukan analisis variabilitas ozon ( $O_3$ ) di lapisan mesosfer dan termosfer Indonesia berbasis data hasil pengukuran instrumen *Microwave Limb Sounder* (MLS) satelit AURA tahun 2005-2013. Variasi ozon di mesosfer dan termosfer yaitu dari ketinggian 64 km hingga ketinggian sekitar 113 km dianalisis secara profil vertikal bulanan, musiman, variasi temporal terhadap ketinggian, serta variasi temporal pada ketinggian 64 km, 81 km, 86 km, 97 km dan 113 km. Untuk melihat pengaruh bilangan sunspot terhadap variasi ozon di lapisan mesosfer dan termosfer, hasil analisis variasi ozon dibandingkan dengan variasi *bilangan sunspot* (SSN) dari *Sun Spot Index and Long-term Solar Observation* (SILSO). Konsentrasi ozon di mesosfer minimum pada ketinggian 81 km dengan konsentrasi 0,02 ppm sd 0,32 ppm, ozon mencapai maksimum pada ketinggian 97 km dengan konsentrasi sekitar 5 ppm. Di lapisan termosfer (di atas 100 km) ozon mencapai 3 ppm sd 4 ppm. Pola tahunan ozon pada 97 km periode 2005-2013 menunjukkan adanya dua nilai maksimum yaitu pada bulan April mencapai 5 ppm dan Oktober mencapai 4 ppm. Nilai ozon minimum terjadi pada bulan Juni atau Januari dengan nilai ozon antara 2 sd 3 ppm. Variasi temporal ozon pada ketinggian 97 km di komparasi dengan rata-rata bulanan bilangan sunspot. Plot tahunan ozon dan bilangan sunspot bulan April dan Oktober tahun 2005-2013 menunjukkan pola yang mirip. Nilai korelasi ozon dengan SSN untuk bulan April sebesar 0,75 dan korelasi untuk bulan Oktober sebesar 0,58 yang menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara ozon dan bilangan sunspot pada saat ozon mencapai maksimum di 97 km.

### ABSTRACT

#### Keywords:

MLS AURA, SILSO, sun spot number, ozone

Based on *Microwave Limb Sounder* (MLS) installed on board of satellite AURA, variability of ozone ( $O_3$ ) in mesosphere and thermosphere layer in Indonesia in the period of 2005 ~ 2013 have been analyzed. These variability are analyzed in term of monthly vertical profiles, seasonal, and temporal variation at the height of 64 km, 81 km, 86 km, 97 km and 113 km. Result of the analysis are compared to the variation of the Sunspot Number derived from *Sunspot Index and Long-term Solar Observation* (SILSO) to study the

sunspot effect. Ozone concentration in mesosphere has a minimum at 81 km (0.02 ppm ~ 0.32 ppm), and maximum at 97 km (5 ppm). In upper thermosphere (> 100 km) ozone varied in the range of 3 ~ 4 ppm. Annual pattern in the period of 2005~2013 at 97 km show two peaks, that are on April (5 ppm) and October (4 ppm). Minimum value were detected on January and June (2~3 ppm). Temporal variation in 97 km are in coincidence with monthly average of the Sun spot number. Annual ozone plot and sunspot number in April and October 2005~2013 show similar pattern. Ozone and Sunspot Number gave correlation number of 0.74 in April and 0.58 in October. These number show strong correlation of those parameters in the height of 97 km, where the ozone has its maximum concentration.

## 1. Pendahuluan

Pengamatan konsentrasi ozon di lapisan *Middle and Lower Thermosphere (MLT)* /mesosfer dan termosfer bawah dapat dipakai sebagai dasar untuk membedakan perubahan konsentrasi ozon akibat dari pengaruh alam atau dari gangguan antropogenik. Hasil pengamatan ozon di lapisan ini dapat dipakai untuk menguji skema modifikasi kimia yang mempergunakan perbandingan dari data hasil observasi dengan model.

Konsentrasi ozon dipengaruhi oleh pergerakan atmosfer sehingga ozon dapat dipakai sebagai penjejak untuk mempelajari dinamika lapisan *MLT*. Secara umum, radiasi matahari sangat berperan dalam pembentukan ozon permukaan. Konsentrasi ozon meningkat sebanding dengan peningkatan bilangan sunspot.

Penelitian ini dimaksudkan sebagai studi awal kopleng atmosfer dengan antariksa khususnya untuk kimia atmosfer di Indonesia.

## 2. Tinjauan Pustaka

Ozon di atmosfer sebagai *link* antara aktivitas matahari termasuk bilangan sunspot. Ada faktor lain yang dapat mengontrol iklim yaitu ozon, debu vulkanik, konstanta matahari, radiasi dan CO<sub>2</sub>. Efek yang mungkin dari meningkatnya ozon di atmosfer sesuai dengan pola umum berubahnya iklim di lintang tinggi dan di lintang rendah, dan menarik untuk dicari keterkaitannya antara peningkatan ozon dan aktivitas matahari (Willnet, 1960).

Radiasi matahari mempengaruhi keseimbangan ozon dikarenakan berkaitan

dengan siklus aktivitas matahari sedemikian rupa sehingga terkait juga dengan bilangan sunspot. Konsentrasi ozon meningkat dengan meningkatnya jumlah sunspot. Umumnya, radiasi matahari memainkan peran penting terhadap variasi konsentrasi ozon permukaan. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa konsentrasi ozon permukaan nyata berkorelasi dengan bilangan sunspot. Konsentrasi ozon permukaan lebih tinggi pada bulan Mei karena intensitas radiasi matahari yang lebih besar. Peningkatan konsentrasi ozon permukaan dengan peningkatan bilangan sunspot lebih signifikan pada bulan Mei dibandingkan dengan bulan Oktober (Silvaraj et al., 2010).

Pengamatan ozon di lapisan *MLT* sangat berguna, pertama untuk *base line* konsentrasi ozon di seluruh atmosfer, sehingga variabilitas alam dapat dibedakan dari gangguan antropogenik. Kedua, pengamatan ozon memungkinkan digunakan untuk pengujian model kimia atmosfer di lapisan *MLT* dengan membuat perbandingan antara model dengan data observasi karena ozon sebagai penyerap efisien radiasi ultraviolet dan bereaksi secara *eksotermal* dengan beberapa spesies termasuk atom hidrogen dan oksigen. Oleh karena itu, pengetahuan tentang ozon meningkatkan pemahaman tentang keseimbangan energi di wilayah *MLT*. Karena konsentrasi ozon juga dipengaruhi oleh gerakan atmosfer, dan ozon dapat digunakan sebagai *tracer* untuk memahami dinamika di lapisan *MLT* (Marsh et al., 2002).

## 3. Data dan Metode

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data profil vertikal harian ozon hasil pengukuran sensor MLS AURA untuk wilayah Indonesia selama tahun 2005-2013

(<http://mls.jpl.nasa.gov/eos/instrument.php>).

Sensor MLS AURA memiliki kemampuan untuk mengukur ozon dan parameter kimia atmosfer lainnya dengan cakupan wilayah global dan

Data aktivitas matahari yang digunakan adalah data harian *Sun Spot Number* (SSN) /bilangan sun spot dari SILSO (Sun spot Index and Long-term Solar Observation) tahun 2005 sampai 2013. (SILSO)

(<http://www.side.be/Silso/>).

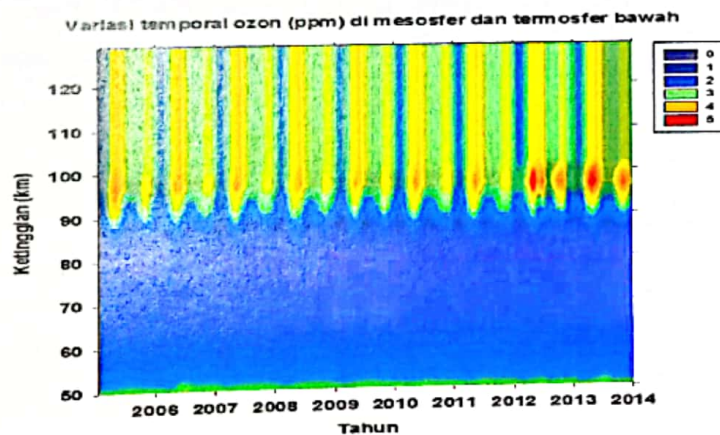
Data yang diperoleh adalah data harian, kemudian diolah menjadi variasi bulanan, musiman dan dibandingkan dengan profil rata-rata 2005 sampai 2013. Data diolah menjadi variasi bulanan, musiman, dan perbandingan profil ozon untuk mengetahui karakteristik ozon serta variasi musiman dan tahunan juga tren dan korelasi ozon terhadap sunspot di mesosfer dan termosfer.

resolusi data yang cukup baik yaitu resolusi vertikal 3 km dan spasial 200 km (Ahmad et al., 2006).

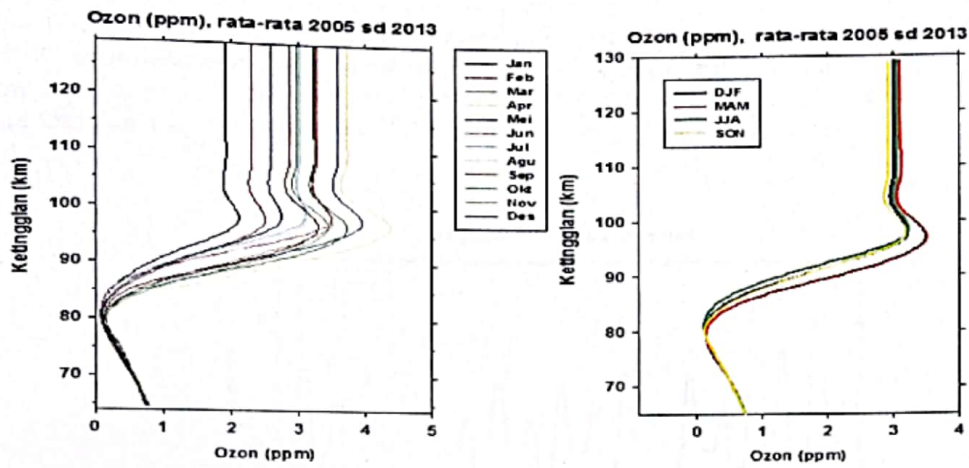
Hasil analisis time series profil vertikal bulanan ozon di mesosfer sampai dengan termosfer Indonesia disajikan pada Gambar 4-1. Konsentrasi ozon di mesosfer minimum pada ketinggian 81 km dengan konsentrasi 0,02 ppm sampai dengan 0,32 ppm, ozon mencapai maksimum pada ketinggian 97 km dengan konsentrasi sekitar 5 ppm. Di lapisan termosfer (di atas 100 km) konsentrasi ozon mencapai 3 ppm sampai dengan 4 ppm.

Pada Gambar 4-2 disajikan variasi rata-rata bulanan ozon 2005 sd 2013 yang menunjukkan konsentrasi ozon sangat rendah di mesosfer bawah kemudian meningkat dan mencapai 4 ppm sd 5 ppm. Rata-rata musiman konsentrasi ozon mencapai maksimum 3,5 ppm pada bulan-bulan Maret, April, Mei (MAM).

#### 4. Pembahasan



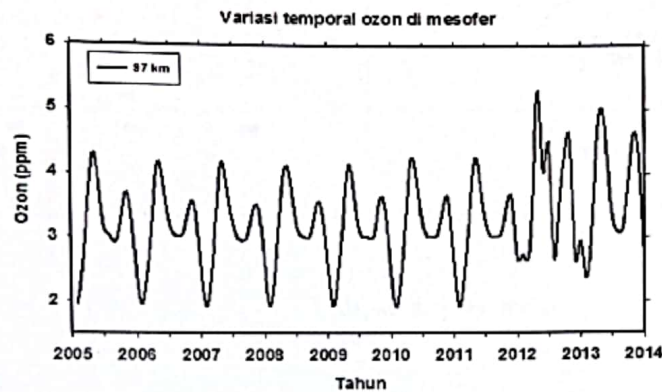
Gambar 4-1. Time series profil vertikal ozon bulanan di lapisan MLT Indonesia tahun 2005-2013.



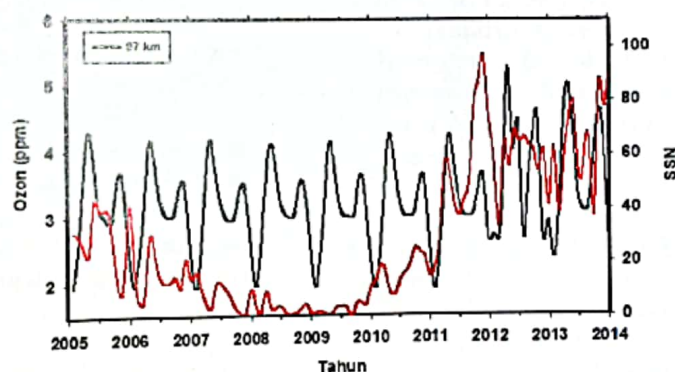
Gambar 4-2. Profil vertikal ozon rata-rata bulanan (kiri) dan profil rata-rata musiman (kanan) di lapisan MLT Indonesia tahun 2005-2013.

Pola tahunan ozon pada 97 km periode 2005-2013 menunjukkan adanya dua nilai maksimum yaitu pada bulan April mencapai 5 ppm dan Oktober mencapai 4 ppm. Nilai ozon

minimum terjadi pada bulan Juni atau Januari dengan nilai ozon antara 2 sd 3 ppm yang dapat dilihat pada Gambar 4-3.



Gambar 4-3. Timeseries ozon rata-rata bulanan pada ketinggian 97 km tahun 2005-2013

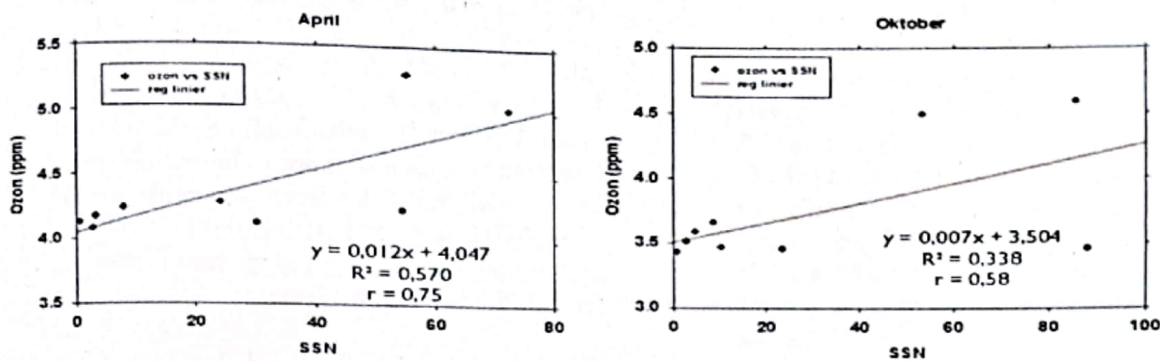


Gambar 4-4. Ozon rata-rata bulanan pada 97 km dan SSN tahun 2005-2013 .

Pengaruh bilangan sunspot (SSN) terhadap variabilitas ozon di mesosfer dan termosfer dilakukan dengan membandingkan variasi bulanan ozon dengan SSN seperti ditampilkan pada Gambar 4-4. Variasi bulanan ozon di termosfer (97 km) sejalan dengan variasi bulanan SSN. SSN menunjukkan penurunan dari tahun 2005 hingga tahun 2010 dengan nilai dan terjadi peningkatan pada tahun 2011 hingga 2013 dengan nilai SSN mencapai 100.

korelasi konsentrasi ozon pada 97 km dengan bilangan sunspot (SSN) pada bulan April dan Oktober disajikan pada Gambar 4-5. Pada ketinggian 97 km atau di termosfer, konsentrasi ozon dengan SSN pada bulan April menunjukkan korelasi positif yang sangat baik dengan koefisien korelasi ( $r$ ) mencapai 0,75. Korelasi

ozon dengan SSN pada bulan Oktober juga menunjukkan korelasi positif dengan koefisien korelasi 0,58.



Gambar 4-5. Korelasi ozon pada 97 km dengan SSN pada bulan April (kiri) dan Oktober (kanan)

## 5. Kesimpulan

Konsentrasi ozon di mesosfer Indonesia minimum pada ketinggian 81 km dengan konsentrasi 0,02 ppm sd 0,32 ppm, ozon mencapai maksimum pada ketinggian 97 km dengan konsentrasi sekitar 5 ppm. Di lapisan termosfer (di atas 100 km) konsentrasi ozon mencapai 3 ppm sd 4 ppm.

Pola tahunan ozon pada 97 km periode 2005-2013 menunjukkan adanya dua nilai maksimum yaitu pada bulan April mencapai 5 ppm dan Oktober mencapai 4 ppm. Nilai ozon minimum terjadi pada bulan Juni atau Januari dengan nilai ozon antara 2 sd 3 ppm.

Hasil komparasi ozon pada ketinggian 97 km dengan rata-rata bulanan bilangan sunspot April dan Oktober tahun 2005-2013 menunjukkan pola yang mirip dengan nilai korelasi ozon dengan SSN untuk bulan April sebesar 0,75 dan korelasi untuk bulan Oktober sebesar 0,58. Nilai korelasi berbeda karena ada beda aktivitas matahari antara bulan April dan Oktober. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara ozon dan bilangan sunspot pada saat ozon mencapai maksimum di 97 km.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada penyedia data sunspot yaitu SILSO (Sunspot Index and Long-term Solar Observation) dan kepada penyedia data komposisi kimia atmosfer hasil pengukuran sensor MLS satelit Aura milik NASA yang

dapat diakses melalui fasilitas website MIRADOR NASA.

## 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*.
- Allen, M., Lunine, J., and Yung, Y (1984), The Vertical Distribution of Ozone in the Mesosphere and Lower Thermosphere, *J. Geophys. Res.*, 89, 4841-4872..
- Ambarsari N dan Komala N., 2010, Profil Vertikal Ozon, ClO, dan Temperatur di Bandung dan Watukosek Berbasis Observasi Sensor MLS Satelit AURA, *Prosiding Seminar Sains Atmosfer I 2010*, ISBN : 978-9779-1458-38-2, hal. 363-374.
- Angel, J. K. (1989), On the Relation between Atmospheric ozone and Sunspot Number, *Journal of climate*, Volume 2, pp:1404-1416.
- Kasai, Y, H. Sagawa, D. Kreyling, E. Dupuy, P. Baron, J. Mendrok, K. Suzuki, T. O. Sato, T. Nishibori, S. Mizobuchi, K. Kikuchi, T. Manabe, H. Ozeki, T. Sugita, M. Fujiwara, Y. Irimajiri, K. A. Walker, P. F. Bernath, C. Boone, G. Stiller, T. von Clarmann, J. Orphal, J. Urban, D. Murtagh, E. J. Llewellyn, D. Degenstein, A. E. Bourassa, N. D. Lloyd, L. Froidevaux, M. Birk, G. Wagner, F. Schreier, J. Xu, P. Vogt, T. Trautmann, and M. Yasui (2013), Validation of stratospheric and mesospheric ozone observed by SMILES from

- International Space Station, *Atmos. Meas. Tech.*, 6, 2311–2338.
- Marsh, D. R., Skinner, W. R., Marshall, A. R., Hays, P. B., Orland, D. A., and Yee, J.-H (2002), High Resolution Doppler Imager observations of ozone in the mesosphere and lower thermosphere, *J. Geophys. Res.*, 107(D19), 4390, doi:10.1029/2001JD001505.
- MLS instrument, <http://mls.jpl.nasa.gov/index-eos-mls.php>, tanggal akses 28 Februari 2013.
- Samuel Selvaraj, R. S. Tamil Selvi, and S.P. Vimal Priya (2010), Association between surface ozone and solar activity, *Indian Journal of Science and Technology* Vol. 3, No 3, pp: 332-334.
- Smith, A.K and Daniel R. Marsh (2005), Process that account for the ozone maximum at mesopause, *Journal of Geophysical Research*, vol 110, D23305. Doi:10.1029/2005JD006298.
- Summers, M. E. , D. F. Strobel, Z. R. M. Bevilacqua, I XUN ZHU, Z M. T. Deland, M. Allen, and G. M. Keating (1990), A Model Study of the Response of Mesospheric Ozone to Short-Term Solar Ultraviolet Flux Variations, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 95, NO. D13, Pages 22,523-22,538.
- 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.
- Willnet, H. C., (1960), The relationship of Total Atmospheric Ozone to Sunspot Cycle, *Journal of Geophysical Research*, Volume 67, No 2, pp: 661-670.