

Perbandingan Total Ozon Hasil Pengukuran Menggunakan Spektrometer Visibel dan EP-TOMS di Ciater

Afif Budiyo*)

*) Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim

ABSTRACT

The ground based measurement of total ozone used a visible spectrometer was conducted at Ciater ($6.43^{\circ} \text{ S} - 107.40^{\circ} \text{ E}$), since August 1994 - December 1998. The total ozone from the visible spectrometer measurement were compared with the total ozone from EP-TOMS (Earth Probe-Total Ozone Mapping Spectrometer). The purpose of comparison of total ozone was to evaluate the stability and the accuracy of Ciater's visible spectrometer during measurement period.

The result of the comparison showed that Ciater's visible spectrometer was relatively stable and accurate, with difference less than 7 % to EP-TOMS.

ABSTRAK

Pengukuran total ozon dari stasiun bumi dengan menggunakan spektrometer visibel di Ciater ($6.43^{\circ} \text{ LS} , 107.40^{\circ} \text{ BT}$) dilakukan sejak Agustus 1996 hingga Desember 1998. Total ozon hasil pengukuran dengan menggunakan spektrometer visibel ini dibandingkan dengan hasil pengukuran EP-TOMS (Earth Probe-Total Ozone Mapping Spectrometer), Perbandingan total ozon ini dimaksudkan untuk evaluasi stabilitas dan ketelitian spektrometer visibel, yang telah diinstal di Ciater, selama pengukuran dilakukan.

Dari hasil perbandingan menunjukkan bahwa spektrometer visibel yang di instal di Ciater relatif stabil dan teliti, dengan perbedaan terhadap EP-TOMS lebih kecil dari 7 %.

1. PENDAHULUAN

Ozon merupakan gabungan tiga atom oksigen, yang terbentuk melalui proses fotolisis radiasi ultraviolet terhadap molekul oksigen. Meskipun ozon merupakan bagian terkecil dari komponen atmosfer bumi, namun lapisan ozon mempunyai peran yang cukup penting bagi keseimbangan ekologi di bumi. Konsentrasi ozon terbesar berada pada ketinggian stratosfer pada ketinggian $\pm 25 \text{ km}$, yang sering disebut sebagai lapisan ozonosfer, atau "Good Ozone" (Steve Kempler, 1999). Produksi ozon terbesar berada pada daerah katulistiwa, mengalami penyinaran matahari yang terus menerus sepanjang tahun.

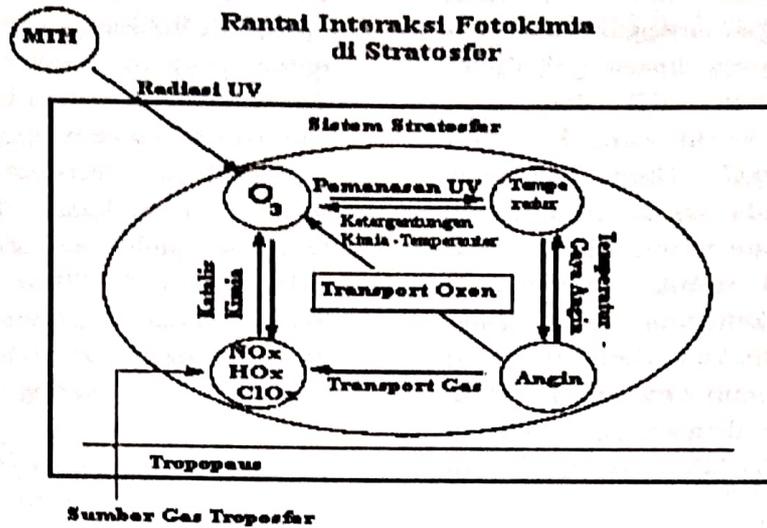
Namun kondisi lapisan ozon terbesar justru berada pada daerah lintang tinggi dan lintang menengah, hal ini terjadi karena adanya proses transport dan dinamika atmosfer. Masalah ozon atmosfer telah lama dipelajari oleh para ilmuwan, sejak tahun 1920-an. Sejak itu perkembangan peralatan untuk pengukuran konsentrasi ozon terus berkembang, dengan menggunakan spektrometer di stasiun bumi (Ground based station), ballon, pesawat terbang, roket hingga satelit. Perkembangan terakhir menunjukkan bahwa alat ukur ozon ini telah dapat mengukur konsentrasi ozon dari permukaan bumi hingga atmosfer atas baik secara global maupun profil.

Pada makalah ini akan dibahas perbandingan antara total ozon hasil pengukuran dengan menggunakan spektrometer visibel yang dipasang di Ciater (6.43° LS, 107.40° BT) dan hasil pengukuran dari satelit, yaitu EP-TOMS (*Earth Probe-Total Ozone Mapping Spectrometer*) pada lokasi yang sama, untuk periode data tahun 1996 - 1998 dengan maksud untuk mengetahui stabilitas dan ketelitian spektrometer visibel yang digunakan. Data total ozon dari EP-TOMS digunakan sebagai standar pembandingan dengan pertimbangan bahwa data EP-TOMS lebih stabil dan teliti.

2. FOTOKIMA OZON

Ozon pertama kali ditemukan pada tahun 1839, oleh ilmuwan Jerman, yaitu *Christian Freiderich Schoubin*, (Steve Kempler, 1999). Ozon terbentuk dari molekul oksigen melalui proses fotolisis radiasi ultraviolet. Secara alamiah beberapa molekul oksigen (O_2) atmosfer akan terurai oleh proses penyinaran radiasi ultraviolet dan membentuk 2 atom oksigen (O); atom oksigen ini akan bereaksi kembali dengan molekul oksigen (O_2) membentuk ozon (O_3). Hampir sebagian besar ($\pm 90\%$) konsentrasi ozon terakumulasi pada ketinggian stratosfer ± 25 km, yang biasa disebut sebagai lapisan ozon (Ozonosfer) atau disebut pula sebagai "Good Ozone" (Steve Kempler, 1999), dan hanya $\pm 10\%$ berada pada ketinggian troposfer hingga permukaan bumi. Lapisan ozon sangat berperan penting bagi kesetimbangan ekologi di bumi., ozon sebagai pelindung bumi, memproteksi permukaan bumi dari sengatan radiasi

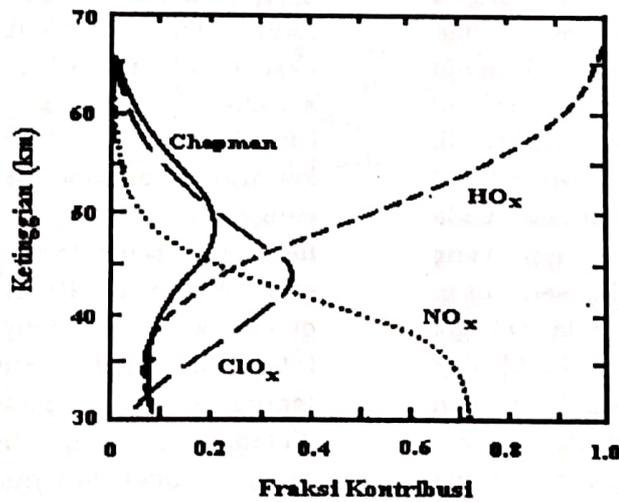
ultraviolet matahari yang cukup berbahaya bagi kehidupan di bumi. Tanpa perlindungan ozon kita akan lebih mudah terkena kanker kulit, katarak, dan penurunan sistem kekebalan tubuh. Penurunan lapisan ozon sebesar 1%, menyebabkan terjadinya peningkatan penyinaran radiasi ultraviolet, yang berakibat pada peningkatan gangguan DNA sebesar 2% (Steve Kempler, 1999). Secara alamiah proses produksi dan gangguan ozon dikendalikan oleh radiasi ultraviolet yang sering disebut sebagai "*Chapman Reactions*". Akan tetapi kebanyakan gangguan/perusakan ozon lebih disebabkan oleh adanya spesies katalis seperti HO_x , NO_x , ClO_x hasil dari aktivitas alamiah dan manusia, seperti transportasi, industri dan rumah tangga (Wayne., 1991). Stabilitas ozon sangat bergantung pada sistem yang kompleks dari spesies HO_x , NO_x , ClO_x serta keberadaan radiasi ultraviolet dan dinamika atmosfer (Brasseur, 1986). Kehilangan *odd oksigen* ($O + O_3$) di atmosfer merupakan rekombinasi ozon dan atom oksigen, setelah bereaksi dengan katalis kimia seperti hidrogen radikal (OH), oksida nitrogen (NO_x) dan oksida klorin (ClO_x), gangguan ini spesifik bergantung pada ketinggian (Brasseur et.al, 1986, 1988). Pada ketinggian mesopause ($\pm 80-85$ km) gangguan ini terjadi karena spesies hidrogen, sementara pada ketinggian stratosfer ($\pm 20-40$ km), gangguan ini diakibatkan oleh adanya oksida nitrogen (NO_x), dan pada ketinggian stratosfer rendah dan tropopause ($\pm 8-20$ km) diakibatkan oleh hidrogen radikal, sebagai akibat dari proses fotodekomposisi klorin oleh radiasi ultraviolet terhadap klorofluorokarbon hasil aktifitas industri, (Gambar 2-1a dan 2-1b).



Gambar 2-1a. : Rantai Interaksi Fotokimia di Stratosfer

Siklus lain yang sangat respon terhadap gangguan ozon adalah ClO dan BrO seperti yang terjadi di stratosfer

rendah di antartika (kutub selatan) dan arctic (kutub utara) (Salomon., 1990, Michael. Et.al 1986, Brune. et.al 1991).



Gambar 2-1b. : Fraksi kontribusi perusakan odd oksigen oleh HO_x, NO_x, ClO_x

3. DATA DAN METODE ANALISIS.

3. 1. Teknik Pengukuran Ozon

3.1.1. EP-TOMS.

Pengukuran ozon total melalui satelit telah dilakukan sejak tahun 1978. Yaitu sejak diluncurkannya satelit Nimbus-7 pada tanggal 24 Oktober 1978. Satelit Nimbus-7 ini membawa beberapa peralatan penelitian untuk pemantauan lingkungan bumi, diantaranya SBUV (Back Scatter Ultraviolet) dan TOMS. (TOMS-EP Technical Information, NASA Fact Sheets 1997).

TOMS (*Total Ozone Mapping Spectrometer*), yang diluncurkan dengan satelit Nimbus-7 merupakan TOMS generasi pertama, dari 5 (lima) seri satelit misi yang membawa peralatan TOMS. TOMS seri pertama ini beroperasi secara aktif sejak 31 Oktober 1978 hingga 6 Mei 1993, dan disusul TOMS generasi ke dua yang diluncurkan dengan satelit Meteor-3, yang beroperasi tahun 1991 - 1993. Sementara EP-TOMS, merupakan TOMS generasi ke tiga yang diluncurkan dengan menggunakan satelit Earth Probe, pada tanggal 2 Juli 1996 hingga sekarang. TOMS adalah instrumen generasi kedua alat pengukur ozon yang menggunakan sistem SBUV (Back scatter ultraviolet). TOMS dapat mengukur total ozon kolom, yaitu total ozon pada kolom udara dari permukaan bumi hingga permukaan atas atmosfer. TOMS mengukur hampir seluruh pita/kanal elektromagnetik ultraviolet dekat (near Ultraviolet), dimana sinar matahari pada panjang gelombang ini diserap/diabsorpsi oleh ozon. EP-TOMS mengukur total ozon dengan mendeteksi energi matahari ultraviolet yang datang dan yang dipantulkan oleh permukaan bumi, pada enam panjang gelombang, yaitu : 313, 318, 331, 340, 360 dan 380 nm. Radiasi yang dihamburkan (Backscattered), merupakan radiasi matahari yang menembus atmosfer bumi hingga sampai pada atmosfer rendah, dan dihamburkan oleh molekul udara serta awan kembali melewati stratosfer

hingga terdeteksi oleh sensor satelit. Dengan membandingkan radiasi matahari yang datang dan yang dipantulkan dapat diketahui konsentrasi ozonnya.

TOMS melakukan 35 pengukuran setiap 8 detik, dengan cakupan luas 30 - 125 mil atau 50 hingga 200 km di permukaan bumi. Data ozon hasil pengukuran EP-TOMS yang digunakan dalam analisis adalah data periode Agustus 1994 sampai dengan Desember 1998.

3. 1. 2. Spektrometer Visibel.

Pengukuran ozon total dengan menggunakan spektrometer visibel (dengan spesifikasi seperti terlihat pada Tabel 3-1) dapat dilakukan melalui stasiun bumi, dengan mengukur nilai absorpsi radiasi sinar tampak pada panjang gelombang $\lambda = 432 - 487 \text{ nm}$, yang dihamburkan oleh atmosfer. Pengukuran dilakukan pada saat sudut zenith matahari 90° pada pagi dan sore hari, dimana lintasan sinar matahari di atmosfer pada kondisi maksimum. Pengukuran juga dilakukan pada saat siang hari, saat lintasan sinar matahari minimum, sebagai spektrum kontrolnya (Noxon, et.al 1979). Prinsip dasar pengukuran ozon dengan menggunakan visibel spectrometer adalah hukum "Lambert Beer", dimana atenuasi radiasi matahari monokromatik yang terjadi sebanding dengan jumlah molekul pengabsorpsi, sepanjang lintasan optiknya.

Tabel 3-1. SPESIFIKASI SPEKTROFOTOMETER VISIBEL JOBYN YVON H-20

Power	220-250 Volt, 50 - 60 Hz
Spektrofotometer	Jobyn Yvon H-20
Optik detektor	Photomultiplier tipe 9804 B
Panjang Gelombang	432 - 487 nm
Resolusi	0.5 nm
Fokus	200 mm
Jumlah grid	1200 (grid/mm)
Ukuran Slit	0.25 x 5 (mm)
Total Scanning	12 kali (maju & mundur)
Waktu Scanning	216 detik

Dari *log ratio* spektrum hasil pengukuran pada sudut zenith matahari 90° terhadap spektrum kontrolnya, akan diperoleh perbedaan struktur spektrum

akibat absorpsi oleh ozon. Dengan optimasi *least square* antara hasil *log ratio* spektrum pengukuran dan *cross section* ozon, akan diperoleh nilai konsentrasi ozon (dalam *slant column amount*). Dengan asumsi bahwa faktor masa udara 17, maka dapat dikonversi nilai total ozon (*slant column amount*) ke dalam dobson unit.

Pengukuran total ozon dengan menggunakan spektrometer visibel ini dilakukan di Laboratorium Lapangan di Ciater (6.43° LS, 107.40° BT) hasil kerja sama antara Puslitbang Pengetahuan Atmosfer LAPAN dan STE Nagoya University. Data yang digunakan dalam analisis perbandingan adalah data periode pengukuran bulan Agustus 1994 sampai dengan Desember 1998.

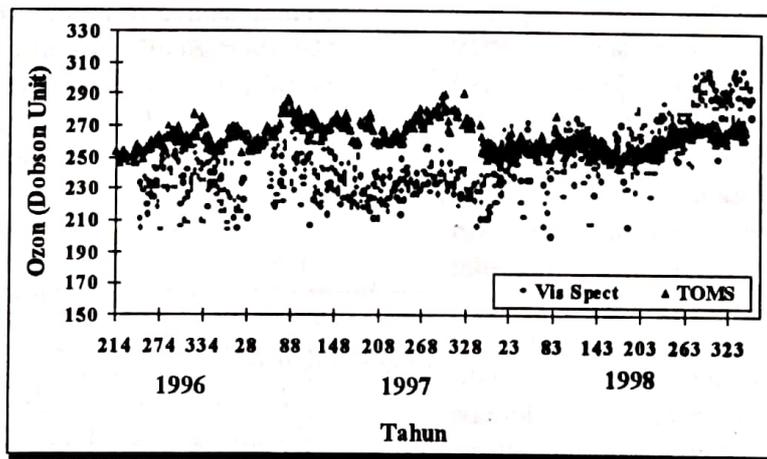
3.2. Metode Analisis

Data ozon total hasil pengukuran dengan menggunakan spektrofotometer visibel diseleksi untuk data dengan error < 1 baik data hasil pengukuran pada pagi hari dan sore hari. Data ozon rata-rata pagi dan sore hari ini dibandingkan

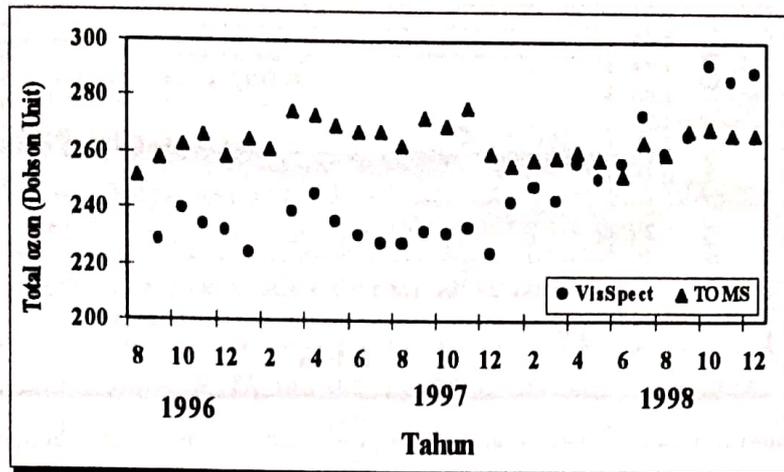
langsung dengan data total ozon hasil pengukuran dari EP-TOMS yang diperoleh dari internet dengan menggunakan metode statistik diskriptif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4-1a dan 4-1b, menunjukkan plot rata-rata harian dan bulanan total ozon hasil pengukuran dengan menggunakan spektrometer visibel dan EP-TOMS selama periode pengukuran Agustus 1996 - Desember 1998. Secara global nampak adanya kecenderungan pola variasi yang hampir sama satu sama lain. Terjadinya kecenderungan peningkatan konsentrasi ozon pada EP-TOMS terjadi pula pada total ozon hasil pengukuran dengan visibel spektrometer, meskipun hasil pengukuran dengan menggunakan spektrometer visibel lebih acak dibandingkan dengan hasil pengukuran EP-TOMS (Gambar 4-1a). Pola kenaikan dan penurunan ini akan lebih nampak pada nilai rata-rata bulanan, atau variasi musimannya (Gambar 4-1b).



Gambar 4-1a : Rata-rata harian total ozon hasil pengukuran menggunakan Spek-vis dan EP-TOMS di Ciater



Gambar 4-1b : Rata-rata bulanan total ozon hasil pengukuran dengan menggunakan Spek-vis dan EP-TOMS di Ciater

Rata-rata total ozon hasil pengukuran dengan menggunakan spektrometer visibel lebih kecil dibandingkan EP-TOMS dengan deviasi data terhadap nilai rata-ratanya pada spektrometer visibel adalah $\pm 9.0\%$ dan pada EP-TOMS $\pm 3.2\%$. Perbedaan nilai deviasi yang lebih besar pada spektrometer menggambarkan bahwa pengukuran dengan menggunakan spektrometer visibel relatif kurang

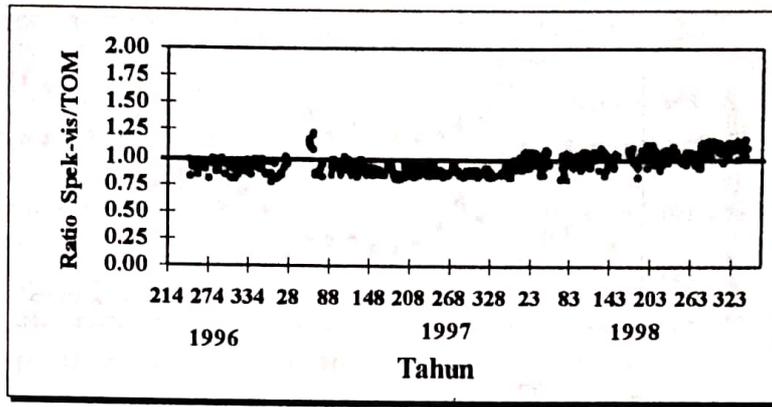
stabil dibandingkan dengan EP-TOMS. Hasil rangkuman statistik data terlihat pada tabel 4-1a, dimana nilai rata-rata perbedaan hasil pengukuran total ozon dengan menggunakan spektrometer visibel dan EP-TOMS lebih kecil dari 7%, baik pada hasil rata-rata harian ataupun pada rata-rata bulanan (kolom 3 & 6 Tabel 4-1a).

Tabel 4-1a. : RANGKUMAN STATISTIK HASIL PENGUKURAN TOTAL OZON DENGAN MENGGUNAKAN SPEKTROMETER VISIBEL DAN EP-TOMS DI CIATER

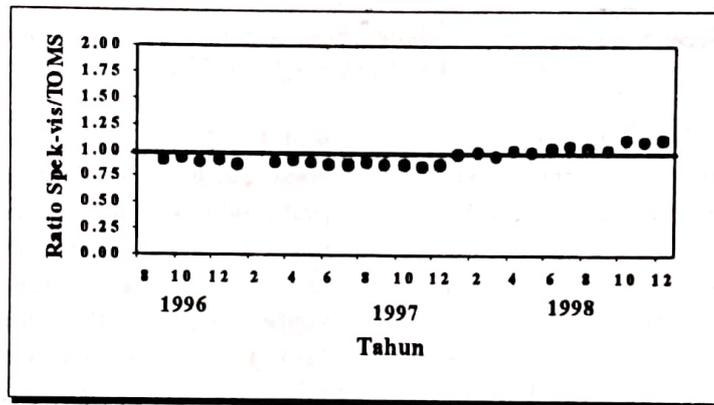
	Rata-rata harian (1082 data)			Rata-rata bulanan (29 data)		
	1	2	3	4	5	6
Rata-rata	Spek-vis (DU)	TOMS (DU)	□□Spek-Vis thd TOMS (%)	Spek-Vis (DU)	TOMS (DU)	□□Spek-vis thd TOMS (%)
Maksimum	245.23	263.31	6.87	246.01	263.92	6.79
Minimum	306.62	291.00	5.37	291.46	275.93	5.63
Stdev	200.27	244.00	17.92	223.73	251.70	11.11
	22.25	8.34		20.06	6.49	

Gambar 4-2a dan 4-2b, menunjukkan rasio (nisbah) total ozon hasil pengukuran dengan menggunakan spektrometer visibel terhadap EP-TOMS, secara rata-rata harian dan bulanan, nilai rasionya 0.94 dan 0.93 atau 94 % dan 93 %, yang berarti bahwa perbedaan hasil pengukuran dengan menggunakan spektrometer visibel dan EP-TOMS mempunyai perbedaan $< 7\%$. Hal ini menggambarkan bahwa hasil pengukuran dengan menggunakan spektro-

meter visibel masih cukup teliti. Perbedan hasil pengukuran ini lebih diakibatkan oleh metode dan lebar pita panjang gelombang yang digunakan untuk mengukur ozon pada kedua peralatan tersebut berbeda, dimana pada EP-TOMS menggunakan pita pada panjang gelombang ultraviolet dekat (313 - 380 nm), sementara pada spektrometer visibel menggunakan pita pada panjang gelombang visibel (432-487 nm).



Gambar 4-2a Ratio total ozon Spek-vis/EP-TOMS di Ciater (rata-rata harian)



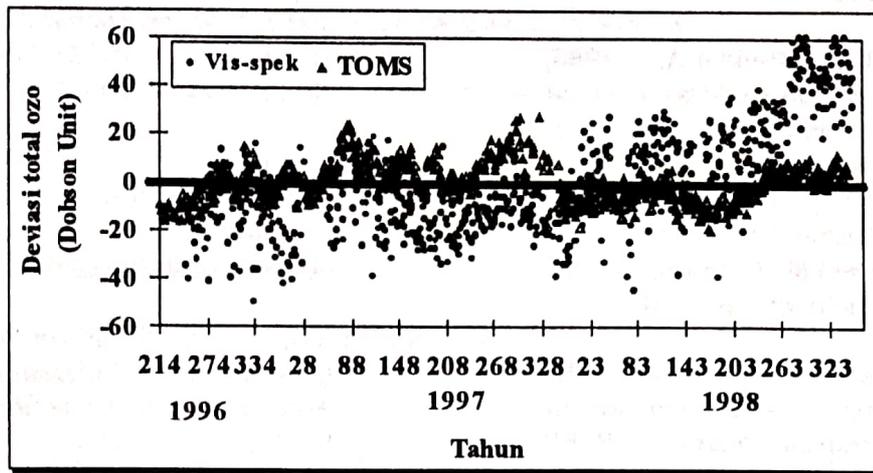
Gambar 4-2b Ratio total ozon Spek-vis/EP-TOMS di Ciater (rata-rata bulanan)

Tabel. 4-1b. Ratio Total ozon hasil pengukuran spektrometer visibel dan EP-TOMS

	Rata-rata haria (1082 data)	Rata-rata Bulanan (29 data)
	Ratio spek-vis/EP- TOMS	Ratio Spek-vis/EP-TOMS
Rata-rata	0.940	0.931
Maksimum	1.198	1.084
Minimum	0.768	0.844
Stdev	0.090	0.079

Gambar 4-3 menunjukkan variabilitas simpangan hasil pengukuran harian terhadap nilai rata-ratanya. Hasil pengukuran dengan menggunakan spektrometer visibel menunjukkan simpangannya cukup menyebar dan mencapai nilai maksimum 60 DU atau 25.5 %, terutama terjadi pada periode tahun 1998. Sementara pada EP-TOMS nilai maksimum simpangannya hanya mencapai : 28 DU atau 10.6 % dan relatif setim-

bang terhadap nilai rata-ratanya. Nilai variabilitas simpangan yang cukup besar dan menyebar pada spektrometer visibel bila dibandingkan dengan EP-TOMS yang relatif kecil dan setimbang pada nilai rata-ratanya, menunjukkan bahwa hasil pengukuran dengan menggunakan spektrometer visibel kurang stabil, terutama pada periode tahun 1998. Ketidak stabilan data hasil pengukuran pada spektrometer visibel, terutama pada periode tahun 1998 disebabkan oleh beberapa faktor, seperti faktor teknis peralatan, yang mana operasional peralatan dilakukan secara kontinu sepanjang tahun sejak tahun 1994 tanpa berhenti, sehingga ada kemungkinan terjadinya perubahan pada sistem mekanik/optik peralatan atau terjadinya penggeseran posisi pada scanning panjang gelombang.



Gambar 4-3 Deviasi total ozon Spek-vis & EP-TOMS

5. KESIMPULAN

Dari perbandingan hasil pengukuran total ozon dengan EP-TOMS, diperoleh bahwa :

1. Hasil pengukuran total ozon dengan menggunakan spektrometer visibel masih cukup teliti dengan diperolehnya hasil pengukuran rata-rata harian dan bulanan yang relatif sama antara spektrometer visibel dan EP-TOMS, hal ini ditunjukkan pada nilai ratio total ozon spek-vis/EP-TOMS, baik dalam rata-rata harian ataupun bulanan, yaitu sebesar 0.94 dan 0.93 atau 94 % dan 93 %.
2. Deviasi hasil pengukuran yang relatif besar dan menyebar pada spektrometer visibel, terutama pada periode tahun 1988 menunjukkan pengukuran dengan menggunakan spektrometer visibel menjadi kurang stabil dibandingkan dengan EP-TOMS, hal ini terjadi karena ada perubahan/gangguan pada sistem mekanik/optik peralatan.

DAFTAR RUJUKAN

- Brasseur.G, and De Rudder.A, 1986, "Agent and Effect of Ozone Trend in The Middle Atmosphere, Stratospheric Ozone Reduction, Solar Ultraviolet Radiation and Plant life" Edited by Worrest. R.C and Caldwell.M.M, Spring Verlag Berlin Heidelberg, , p. 1- 28.
- Brasseur.G, Verstrete.M.M, 1988, "The Role of Atmospheric Chemistry in Solar-Terrestrial Relation", STEP Mayor Scientific Program< Proceeding of Scostep Simposium held during the XVII Cospar Primary Meeting, July, 23, p.167 - 185.
- Brune.H.W, Anderson.J.G, Tooby.D.W, Fahey.D.W, Kawa.S.R, Jones.R.L, McKenna.D.S, Poole.R.L, 1991, "The Potential for Ozone Depletion in the Polar Stratosphere", *Science*, V.252, p. 1260 - 1266.
- Noxon.J.F, Whipple. E.C, and Hyde.R.S; 1979; " *Observational Method and Behaviour at Mid-Latitude*, V.84, No.C8, P 5047-5065.
- Steve Kempler, Nasa Official, 1999, "Atmospheric Chemistry Data & Resources"; <http://daac.gsfc.nasa.gov/>.
- Solomon.S, 1990, "Progress toward a Quantitative Understanding of Antartic Ozone Depletion" *Nature* V.347, p. 347 - 354.
- TOMS-EP, *Technical Information*, <http://toms.nasa.gov/eptoms/>.
- Nasa Fact Sheet, 1997, NASA FACT ON LINE, <http://toms.nasa.gov/>.