

# PENGGUNAAN METODE *ASPECT SENSITIVITY* DALAM PENENTUAN TINGGI LAPISAN TROPOPAUSE DI SAAT MJO AKTIF MELINTASI KAWASAN KOTOTABANG DAN SEKITARNYA

'» Eddy Hermawan<sup>11</sup>, "J Irma Nuriela dan Tri Wahyu Hadi

\*1 Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim, LAPAN

\*\*> Program Studi Meteorologi, FIKTM, Institut Teknologi Bandung

E-mail: [eddy@bdq.lapan.go.id](mailto:eddy@bdq.lapan.go.id)

## ABSTRACT

This paper is mainly concerned to the utilization of aspect sensitivity (Pv/Po) method to define the tropopause height variation over the equatorial Indonesia, nearby Kototabang (0,2°S; 100,32°E), Bukittinggi, West Sumatera using the *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR), especially during the *Coupling Processes Equatorial Atmosphere* (CPEA) Campaign I in 2004 is already done. It is very important to be done since the tropopause is the buffer layer between troposphere and stratosphere (and also contrary) that usually called as the Stratosphere-Troposphere Exchanged (STE) (Holton, 1996). Validation's results with the radiosonde data shows that Pv/Po relatively higher than radiosonde data. They are about 712 meter and 961 meter for *Cold Point Tropopause* (CPT) and *Lapse Rate Tropopause* (LRT) version, respectively. The mean difference between CPT and LRT itself is about 248 meter. This is enough valid considering to the maximum difference between of them not more 500 meter (Haynes and Shepherd, 2001). This result then be applied in determining of tropopause height variation over Kototabang, especially when the *Madden-Julian Oscillation* (MJO) passed over this region from November to December 2001. It shown that there are no significant differences between MJO active and non active on the tropopause height determination about 17.98 km and 17.73 km, respectively. The most interest is the tropopause height variation is larger during the MJO active than non active. We suspect it caused by the turbulence activity nearby the tropopause layer. To get the better understanding of tropopause height variation, especially with good time and spatial height resolution, the utilization of EAR and other instruments at Kototabang are very needed.

Paper ini utamanya adalah membahas tentang penggunaan metode *aspect sensitivity* atau *echo power ratio* (dilambangkan dengan  $P_v/P_o$ ) dalam penentuan variasi tinggi lapisan tropopause di daerah ekuator Indonesia, tepatnya Kototabang ( $0,2^{\circ}\text{LS}$ ;  $100,32^{\circ}\text{BT}$ ), Bukittinggi, Sumatera Barat menggunakan data *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR), khususnya selama kegiatan *Coupling Processes Equatorial Atmosphere* (CPEA) Campaign I tahun 2004 berlangsung. Hal ini penting dilakukan mengingat tropopause merupakan *buffer area* lapisan penyangga adanya pertukaran vertikal massa udara antara lapisan troposfer dan stratosfer (begitupun sebaliknya antara lapisan stratosfer ke troposfer) yang dikenal dengan istilah *Stratosphere-Troposphere Exchange* (STE) (Holton, 1996). Hasil validasi dengan data radiosonde sebagai *in-situ measurement* menunjukkan bahwa  $P_v/P_o$  relatif lebih besar sekitar 712 meter dan 961 meter masing masing untuk versi *Cold Point Tropopause* (CPT) dan *Lapse-Rate Tropopause* (LRT) hasil penurunan data radiosonde. Sedangkan perbedaan rata-rata antara CPT dan LRT sendiri sekitar 248 meter. Hasil ini cukup valid mengingat perbedaan maksimum antara CPT dan LPR tidak melebihi 500 meter (Haynes dan Shepherd, 2001). Hasil tersebut kemudian diaplikasikan dalam penentuan variasi (perubahan) tinggi lapisan tropopause di atas Kototabang di saat fenomena *Madden-Julian Oscillation* (MJO) aktif melintasi kawasan Kototabang dan sekitarnya yakni mulai November hingga Desember 2001. Hasilnya menunjukkan bahwa keberadaan kumpulan awan-awan konvektif pada saat MJO terjadi tidak memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap rata-rata tinggi lapisan tropopause, yakni 17,98 km dan 17,73 km untuk periode konvektif dan non konvektif. Yang sangat menarik adalah bahwa variasi (harian) tinggi lapisan tropopause di saat periode konvektif ternyata relatif lebih besar dibandingkan di saat periode non aktif. Kami menduga hal ini akibat pengaruh aktiitas turbulensi yang terjadi di sekitar lapisan tropopause. Untuk mendapatkan pengertian yang lebih baik tentang dinamika perubahan tinggi lapisan tropopause dalam skala pengamatan yang lebih singkat (dalam orde menit), maka penggunaan data-data EAR dan data penunjang lainnya yang ada di stasiun Kototabang sangat diperlukan.

Kata Kunci : *Aspect Sensitivity*, *CPT*, *LTR* dan *MJO*

## 1 PENDAHULUAN

Variasi tinggi lapisan tropopause terhadap waktu sangat penting dilakukan sehubungan dengan dinamika atmosfer, seperti proses gelombang non linear, transport vertikal dari gas-gas telusur (*trace gases*). Lapisan troposfer atas dan stratosfer bawah merupakan lokasi yang memegang peranan penting dalam proses kimia global akibat adanya interaksi fisis

berupa pertukaran massa udara antara kedua lapisan tersebut yang dikenal dengan istilah *Stratosphere-Troposphere* (STE) (Holton, 1997).

Estimasi tinggi lapisan tropopause umumnya diduga dengan teknik konvensional yang direpresentasikan oleh pengamatan menggunakan radiosonde. Namun resolusi waktu yang dimilikinya tidaklah cukup baik tidak terdeteksinya perubahan kelinggian lapisan tropopause dalam skala waktu yang relatif singkat. Untuk itu diperlukan teknik pengamatan yang dapat menduga ketinggian tropopause secara kontinu dengan resolusi waktu pengamatan yang relatif singkat (biasanya dalam orde menit).

Untuk wilayah Kototabang yang terletak pada posisi  $0,20^{\circ}\text{LS}$ ;  $100,32^{\circ}\text{BT}$  pada ketinggian sekitar 865 m dpi (di atas permukaan laut), digunakanlah data *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR) yang jangkauan vertikalnya dapat melebihi tropopause dan resolusi waktu pengamatan yang relatif singkat (dalam orde sekitar 10 menit-an). EAR mendeteksi gelombang radio yang dihamburkan atmosfer akibat adanya fluktuasi indeks refraktif, di it.ana terdapat dua mekanisme yang dominan yaitu hamburan turbulen isotropik (*isotropic turbulence scattering*) dan refleksi spekular (*specular refraction*) (Hermawan et. al, 1997).

Selanjutnya Hermawan et al. (1997) menyatakan bahwa tinggi lapisan tropopause dapat ditentukan oleh data radar berdasarkan analisis stabilitas atmosfer yang dapat diturunkan sebagai besaran *Brunt Vais&la Frequency Squared* ( $N^2$ ), di mana ia ( $N^2$ ) ternyata sebanding (proporsional) terhadap *vertical echo power* ( $P_v$ ) dan *aspect sensitivity* (*echo power ratio*) ( $P_v/P_o$ ) terutama di sekitar lapisan tropopause.

Ada dua cara yang umumnya digunakan untuk menduga tinggi lapisan tropopause di suatu daerah dengan menggunakan teknik radar, yakni menggunakan teknik *vertikal echo power* dan *aspect sensitivity*. Dibandingkan dengan teknik *vertical echo power*, teknik *aspect sensitivity* nampaknya relatif lebih akurat. Hal ini disebabkan hilangnya *ambiguity* (keragu-raguan) akan adanya tropopause ganda [*multiple tropopause*] bilamana kita menggunakan teknik *vertical echo power* seperti yang pernah dilakukan Kemirah (2005) ketika menduga tinggi lapisan tropopause di atas Kototabang ( $0,2^{\circ}\text{LS}$ ;  $100,32^{\circ}\text{BT}$ ) dengan menggunakan data EAR.

Atas dasar itulah, maka pada penelitian ini digunakan teknik *aspect sensitivity* dengan harapan akan didapat hasil yang lebih akurat. Hal yang tidak kalah pentingnya adalah pendugaan tinggi lapisan tropopause kali ini dikaitkan dengan adanya aktivitas yang kuat, terutama di saat fenomena *Madden-JuUan Oscillation* (MJO) melintasi Kototabang dan kawasan sekitanya. Hal ini didasari asumsi bahwa tinggi rendahnya lapisan tropopause terkait erat dengan aktivitas konveksi yang terjadi di sana. Semakin kuat aktifitas yang terjadi, maka semakin tinggi pula lapisan tropopause yang terbentuk, akibat adanya *updraft* (dorongan vertikal) dari massa udara yang ada di atas Kototabang dan kawasan sekitanya.

### 2.1 Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain meliputi :

- Data EAR (dalam bentuk data *echo power* beam 1 dan 3 masing-masing dengan arah vertikal dan zonal), periode 10 April hingga Mei 2004 (sebagai validasi), dan November hingga Desember 2001 (sebagai studi kasus). Data ini diperoleh dari <http://www.kurasc.kyoto-u.ac.jp/ear/data>.
- Data radiosonde (sebagai pengukuran *in-situ*), periode 10 April hingga 4 Mei 2004 saat kegiatan *Coupling Processes Equatorial Atmosphere (CPEA) campaign* I berlangsung. Data ini diperoleh dari <http://rslab.riko.shimane-u.ac.jp/CPEA/campaign/sonde/data.html>.
- Data citra satelit GMS 5 dari sensor infra merah (IR, Infra Red), periode November hingga Desember 2001. Data ini diperoleh dari <http://weather.is.kochi-u.ac.jp/sat/GAME>.

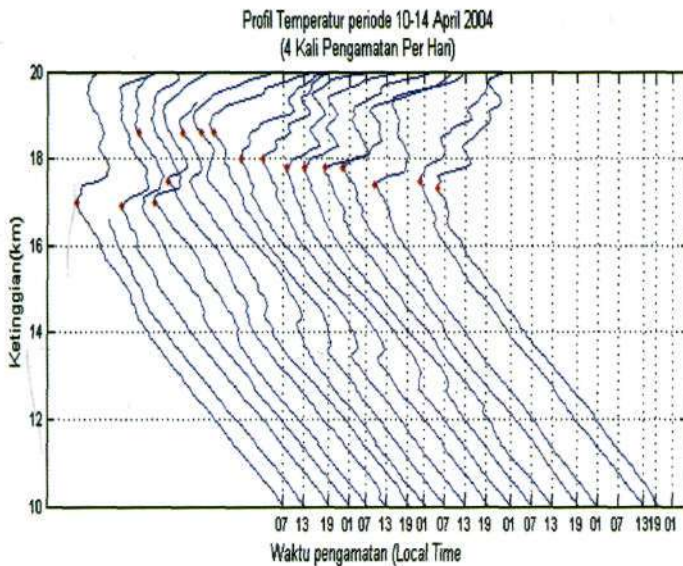
### 2.2 Sementara metode analisis yang dilakukan meliputi :

- Analisis variasi tinggi lapisan tropopause dari data radiosonde periode 10 April hingga 4 Mei 2004.
- Validasi hasil estimasi tinggi lapisan tropopause dari data EAR terhadap data radiosonde. Metode yang digunakan antara lain : *Cold Point Tropopause (CPT)* (Haynes dan Shepherd, 2001) dan *Lapse-rate Tropopause (LRT)* (definisi WMO) yang diperoleh dari data radiosonde, serta metode *aspect sensitivity* (Pv/Po) maupun *vertical echo power* (Pv) yang diperoleh dari nilai maksimumnya (Heo *et al*, 2002).
- Analisis variasi ketinggian tropopause dalam kaitannya dengan keberadaan awan konvektif di wilayah Kototabang selama periode November-Desember 2001.

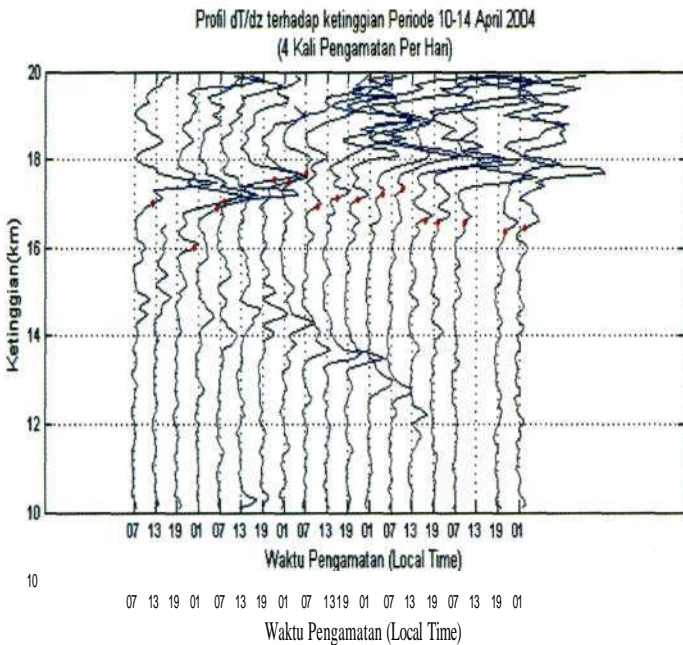
## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Variasi Tinggi Lapisan Tropopause Berdasarkan Analisis Data Radiosonde

Struktur lapisan tropopause dapat diketahui dengan menggunakan data radiosonde. Diantaranya dengan melihat profil suhu terhadap ketinggian dan laju perubahan suhu terhadap ketinggian (dikenal dengan istilah lapse-rate) seperti tampak pada Gambar 3-1. dan 3-2. Ketinggian tropopause baik berdasarkan parameter CPT maupun LRT terlihat bervariasi pada skala waktu per 6-jam (waktu pengamatan 4 kali sehari), meski di antara keduanya terdapat perbedaan ketinggian yang cukup signifikan yaitu sekitar 248 meter. Hal ini sesuai dengan hasil SPARC [*Stratospheric Processes And their Role in Climate*] Tropopause Workshop di Jerman (Haynes dan Shepherd, 2001) bahwa perbedaan ketinggian tropopause berdasarkan CPT dan LRT dapat mencapai 500 meter, dan disebutkan pula bahwa ketinggian tropopause berdasarkan LRT kadangkala membingungkan.



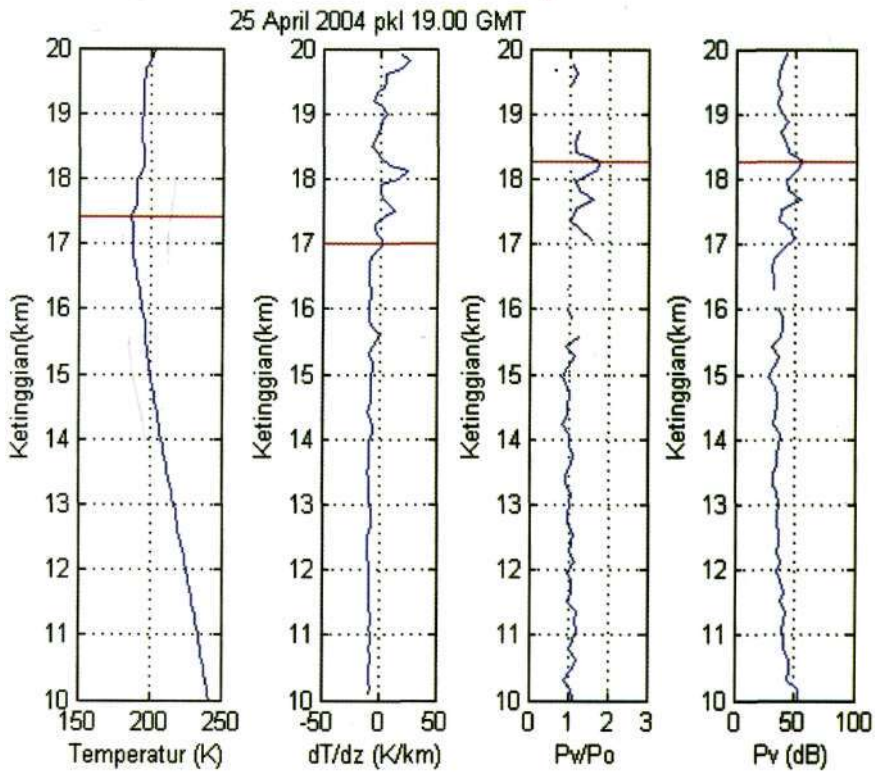
Gambar 3-1: Profil suhu dan ketinggian tropopause dari data radiosonde



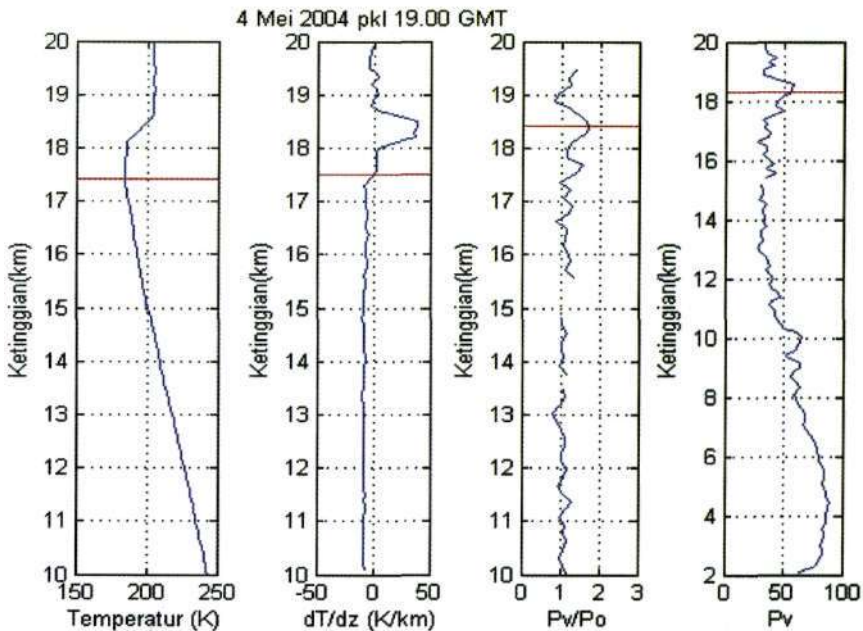
Gambar 3-2: Profil laju perubahan suhu terhadap ketinggian dari data radiosonde

**3.2 Validasi Hasil Pendugaan Ketinggian Lapisan Tropopause dari Data EAR**

Pada proses validasi ini data radiosonde digunakan sebagai data acuan. Pada Gambar 3-3 dan 3-4 diperlihatkan ketinggian lapisan tropopause berdasarkan definisi suhu minimum (profil suhu), definisi menurut *World Meteorological Organization* (WMO) (profil  $dT/dz$ ) serta nilai maksimum untuk *echo power ratio* ( $P_v/P_o$ ) masing-masing pada pengamatan tanggal 25 April dan 4 Mei 2004 yang memiliki tinggi lapisan tropopause yang berbeda.



Gambar 3-3: Perbandingan tinggi lapisan tropopause antara CPT, LRT, EPR dan EPR pada tanggal 25 April 2004

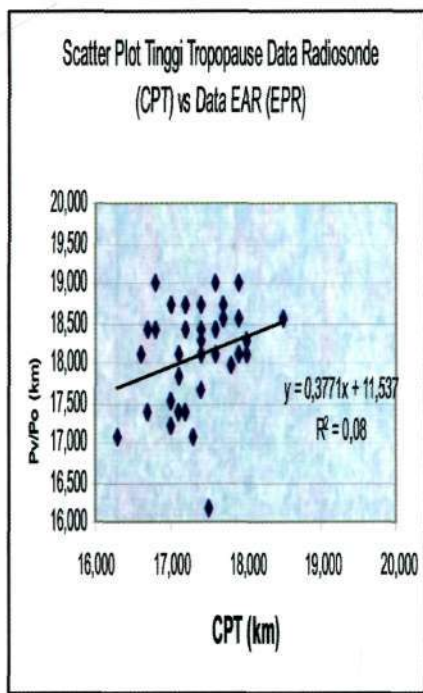


Gambar 3-4: Perbandingan tinggi lapisan tropopause antara CPT, LRT, EPR dan EPR pada tanggal 4 Mei 2004

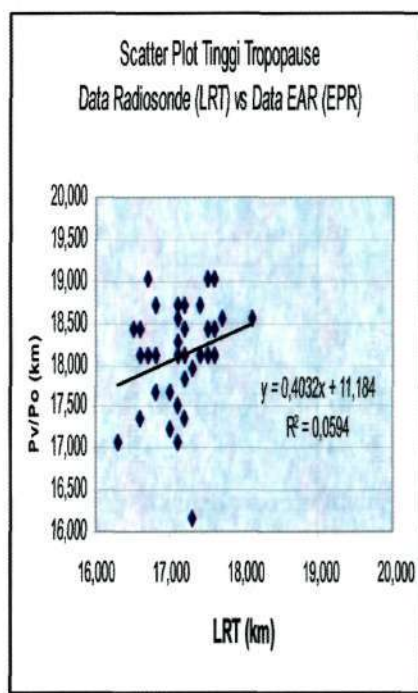


Berdasarkan hasil pengamatan pada periode validasi 10 April - 4 Mei 2004 diperoleh bahwa rata-rata perbedaan ketinggian tropopause versi CPT dan EPR adalah 712 meter. Sedangkan rata-rata perbedaan ketinggian tropopause versi LRT dan EPR adalah 961 meter. Rata-rata perbedaan ketinggian tropopause versi CPT dan Pv adalah 732 meter dan rata-rata perbedaan ketinggian tropopause versi LRT dan Pv adalah 980 meter. Ini berarti bahwa ketinggian tropopause yang diperoleh dari nilai maksimum EPR 712 meter relatif lebih tinggi daripada CPT dan 961 meter relatif lebih tinggi daripada LRT. Untuk Pv, tinggi lapisan tropopausenya sekitar 732 meter relatif lebih tinggi daripada CPT dan 980 meter lebih tinggi daripada LRT.

Pada periode ini, rata-rata ketinggian tropopause CPT adalah 17,378 km, sedangkan untuk LRT adalah 17,130 km, EPR adalah 18,091 km, dan Pv adalah 18,110 km. Nilai minimum ketinggian tropopausenya secara berturut-turut untuk CPT, LRT, EPR dan Pv adalah 16,3 km, 16,3 km, 16,165 dan 16,915 km. Sedangkan ketinggian tropopause maksimum dicapai pada ketinggian 18,50 km, 18,10 km, 19,015 km dan 19,015 km untuk CPT, LRT, EPR, dan Pv. Tidak semua data yang terdapat pada periode ini dapat digunakan, sebab banyak diantaranya yang kosong atau pun tidak lengkap (terutama untuk data radar). Hasil lengkap analisis di atas dapat dilihat pada Gambar 3-5 (a) dan (b), dan 3-6 (a) dan (b).



(a)



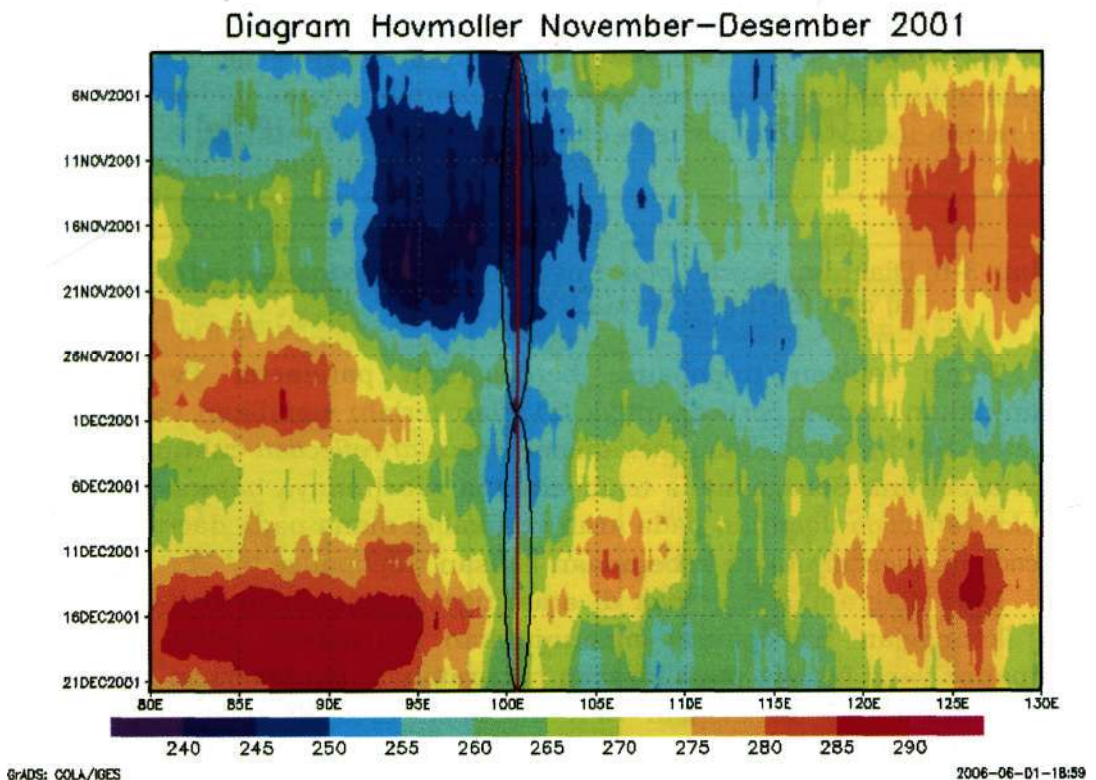
(b)

Gambar 3-5: Diagram *scatter plot* tinggi lapisan tropopause versi CPT vs EPR (a) dan (b) untuk versi LRT vs EPR

Singkatnya adalah bahwa tinggi lapisan tropopause ternyata tidaklah konstan, namun ia bervariasi dari waktu ke waktu. Hasil analisis di atas menunjukkan adanya perbedaan tinggi lapisan tropopause versi CPT dan LRT sekitar 248 meter. Nilai ini masih dianggap signifikan, sebab berada pada nilai di bawah 500 meter seperti dinyatakan Haynes dan Shepherd (2001).

### 3.3 Variasi Tinggi Lapisan Tropopause di saat MJO Aktif (November-Desember 2001 Sebagai Satu Studi Kasus

Analisis dilakukan berbasis hasil kajian sebelumnya yang dilakukan Indriyati (2005) yang menyatakan bahwa aktifitas awan-awan konvektif meningkat cukup signifikan pada periode November hingga Desember 2001. Hal ini diduga terkait erat dengan aktivitas MJO yang juga meningkat pada periode tersebut. Gambaran lengkap variasi tinggi lapisan tropopause pada saat itu dinyatakan dalam Gambar 3-7 dan 3-8 berikut ini:



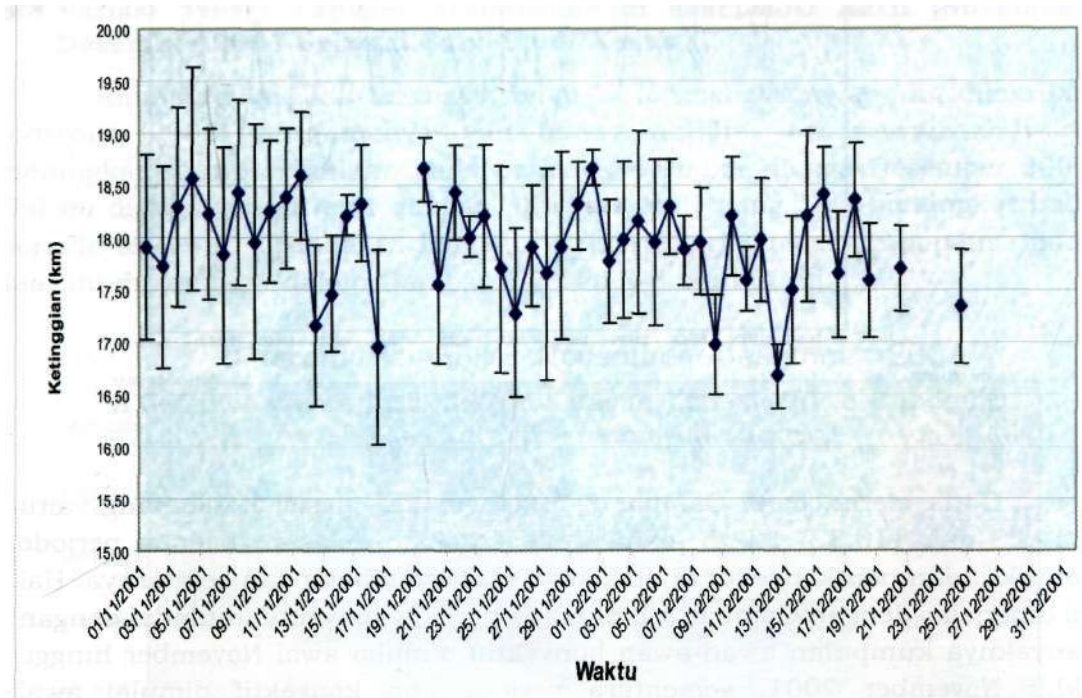
Gambar 3-7: Diagram *Hovmoller* November - Desember 2001 hasil olahan data citra satelit IR (rata-rata harian)





konvektif yang kuat dapat menerobos lapisan tropopause terutama di wilayah tropis di mana transport konvektifnya sangat kuat dibanding daerah lainnya, sehingga lapisan pembatas antara lapisan troposfer dan stratosfer ini dapat lebih tinggi dari sebelumnya.

Variasi Ketinggian Tropopause Periode November-Desember 2001



Gambar 3-9: Variasi ketinggian tropopause rata-rata periode November Desember 2001 serta *error bar*-nya

Secara sekilas tidak terlihat korelasi antara ketinggian tropopause dengan keberadaan kondisi tersebut. Namun bila diambil rata-rata per periode, diperoleh bahwa rata-rata ketinggian tropopause pada periode konvektif lebih tinggi yaitu 17.98 km dan 17.73 km untuk periode non konvektif. Artinya terdapat perbedaan sekitar 0.25 km atau 250 meter antara tinggi lapisan tropopause saat periode konvektif dan saat periode non konvektif. Hal ini mungkin disebabkan oleh periode pengamatan yang terlalu pendek. Namun, setidaknya terlihat pengaruh turbulensi dari awan konvektif, yaitu dengan adanya variasi ketinggian tropopause yang besar dalam satu hari.

Pada Gambar 3-7 terlihat bahwa di awal Desember 2001 telah terjadi *break* (istirahat sejenak) di mana tinggi lapisan tropopause tiba-tiba menjadi lebih rendah, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3-8, di mana keberadaan awan konvektif tidak terlihat, sedangkan pada periode setelah *break* tersebut

terlihat adanya kumpulan awan konvektif meski tidak terlalu kuat namun cukup membuat ketinggian lapisan tropopause menjadi naik.

#### 4 KESIMPULAN

Studi ini ut am any a menekankan kepada penerapan metode *aspect sensitivity* [*echo power ratio*, EPR) dalam pendugaan tinggi lapisan tropopause dari data EAR yang ada di Kototabang, Sumatera Barat dengan kesimpulan sebagai berikut:

- Profil data radiosonde yang diperlihatkan melalui: profil suhu terhadap ketinggian dan laju perubahan suhu terhadap ketinggian pada periode 10 April hingga 4 Mei 2004 menunjukkan bahwa ketinggian lapisan tropopause bervariasi dari waktu ke waktu. Hasilnya menunjukkan bahwa perbedaan tinggi lapisan tropopause versi CPT dan LRT sekitar 248 meter. Nilai ini masih berada pada kisaran perbedaan ketinggian CPT dan LRT yang dapat mencapai 500 meter (Haynes dan Shepherd, 2001).
- Tinggi lapisan tropopause berdasarkan metode *aspect sensitivity* memiliki perbedaan sekitar 712 meter relatif lebih tinggi daripada CPT [*Cold Point Tropopause*] dan 961 meter relatif lebih tinggi daripada LRT [*Lapse-Rate Tropopause*]. Sedangkan untuk metode vertikal *echo power* (Pv), perbedaan tinggi lapisan tropopause sekitar 732 meter relatif lebih tinggi daripada CPT dan 980 meter relatif lebih tinggi daripada LRT. Selain itu, diperoleh pula bahwa tinggi lapisan-lapisan tropopause versi CPT relatif lebih linier terhadap tinggi lapisan tropopause versi *aspect sensitivity* (Pv/Po) ataupun vertikal *echo power* (Pv).
- Keberadaan awan konvektif di Kototabang pada periode November - Desember 2001 tidak terlihat memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap variasi tinggi lapisan tropopause di atas Kototabang, akibat minimnya periode pengamatan yang dilakukan. Adapun tinggi rata-rata lapisan tropopause pada periode konvektif dan non konvektif masing-masing adalah 17.98 km dan 17.73 km. Sedangkan variasi ketinggian tropopause pada periode konvektif relatif lebih besar dibandingkan periode non konvektif. Hal ini diduga akibat adanya faktor turbulensi dari aktivitas dinamik atmosfer yang terjadi di sekitar lapisan tropopause.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Haynes, P.; dan Shepherd, T., 2001. *Report on The SPARC Tropopause Workshop*, Bad Tolz, Jerman.
- Heo, B; dan Kim, K., 2002. *Estimation of The Tropopause Height Using The Vertical Echo Peak and Aspect sensitivity Characteristic of A VHF Radar*. Artikel. <http://iro.igp.gob.pe/mstlQ>.
- Hermawan, E.; T. Tsuda; and T. Adachi, 1998. *MU Radar Observation Variations By Using Clear Air Echo Characteristic*. Jurnal Earth Planet Space, 50,

- 361-370. Radio Science Center for Space and Atmosphere, Kyoto University, Jepang.
- Holton, James. R-, 1995. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press, INC. San Diego, California.
- Indriaty, T., 2005. *Analisa Aktiuitas Konveksi Skala Meso di Daerah Kototabang dan Kaitannya dengan MJO (Madden Jutian Oscillation) Berdasarkan Data EAR (Equatorial Atmosphere Radar)*. Tugas Akhir, Program Studi Meteorologi, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Kemirah, Filla A., 2005. *AnaHsis Stabilitas Atmosfer pada Lapisan Troposfer Atas dan Stratosfer Bawah di Atas Kototabang dengan Menggunakan Data Equatorial Atmosphere Radar (EAR) dan Radiosonde*, Tugas Akhir, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Mineral. Institut Teknologi Bandung.