

VARIASI DATA VERTIKAL TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN HASIL OBSERVASI SATELIT FORMOSAT-3/COSMIC GPS RADIO OCCULTATION DI WILAYAH INDONESIA (ANALISIS DINAMIKA TROPOSFER DAN STRATOSFER)

Noersomadi¹ dan Tiin Sinatra¹

¹Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer

noersomadi@gmail.com ; noersomadi@bdg.lapan.go.id

Abstract

Statistical analysis has been done to the vertical temperature and humidity data observed by FORMOSAT-3/COSMIC GPS Radio Occultation (GPSRO). Grid data profiles (0 – 40 km) were used with 100 m vertical resolution. GPSRO data analysis were focused over Indonesian region (90° – 150°E and 12°S – 7°N). The mean temperature and humidity at 100 m during five years observation period (2007 – 20011) are 299.7 K and 16.6 g/kg respectively. Investigation of temperature and specific humidity anomaly in the troposphere layer showed positif correlation that depicted an annual cycle. This result was agreed with thoery that higher temperature increased water vapor capacity in the atmosphere and represented huge water vapor contents. Temperature fluctuations in the stratosphere were larger than in the troposphere layer, represented disturbance of atmospheric waves. The contour of temperature anomaly at 20 – 30 km described Quasi Biennial Oscillation. These results were concluded that FORMOSAT-3/COSMIC GPSRO data could be utilized to meso scale analysis.

Keywords : *temperature and humidity fluctuations, GPSRO*

Abstrak

Telah dilakukan analisis statistik terhadap data vertikal temperatur dan kelembapan hasil pengamatan satelit FORMOSAT3/COSMIC GPS Radio Occultation (GPSRO). Data yang digunakan berupa data grid vertikal (0 – 40 km) dengan resolusi 100 m. Analisis data observasi GPSRO difokuskan dalam zona wilayah Indonesia (90° – 150° BT dan 12°LS – 7°LU). Rata-rata temperatur dan kelembapan spesifik pada ketinggian 100 m selama lima tahun periode pengamatan (2007-2011) adalah 299,97 K dan 16,6 g/kg. Investigasi anomali temperatur dan kelembapan spesifik di lapisan troposfer menunjukkan korelasi positif yang memperlihatkan siklus tahunan. Hal tersebut sesuai dengan teori bahwa temperatur tinggi meningkatkan kapasitas uap air di atmosfer dan merepresentasikan banyaknya kandungan uap air. Fluktuasi temperatur di lapisan stratosfer lebih tinggi bila dibandingkan dengan di lapisan toposfer, yang merepresentasikan gangguan gelombang atmosfer. Kontur anomali temperatur pada ketinggian 20 – 30 km terhadap waktu mendeskripsikan pola gangguan atmosfer yang disebut sebagai *Quasi Biennial Oscillation*. Dari hasil-hasil analisis tersebut disimpulkan bahwa data vertikal atmosfer hasil observasi FORMOSAT3/COSMIC GPSRO dapat dimanfaatkan untuk analisis skala meso.

Katakunci : fluktuasi temperatur dan kelembapan, GPSRO

1. PENDAHULUAN

Sejak 14 April 2006, *National Space Organization* (NSPO) Taiwan bekerjasama dengan *University Corporation for Atmospheric Research* (UCAR) telah berhasil melakukan misi pengamatan GPS Radio Occultation (GPSRO). Satelit FORMOSAT-3/COSMIC telah diluncurkan untuk misi pengamatan meteorologi, klimatologi, dan ionosfer (Anthes, et.al., 2008). Teknik GPSRO merupakan observasi vertikal atmosfer berbasis sudut pembelokan sinyal akibat indeks bias medium yang dilalui. Indeks bias medium yang dilalui merupakan fungsi tekanan, temperatur, dan kelembapan udara di atmosfer (Ware, et.al. 1996).

Analisis dinamika troposfer berbasis statistik menggunakan data radiosonde seperti Koh, et.al. (2011) terbatas pada lokasi dan waktu. Demikian pula untuk analisis dinamika gelombang menggunakan hasil pengamatan radiosonde baik di lapisan troposfer (Tsuda, et.al. 1991), atau pun di lapisan stratosfer (Wu, et.al. 2006). Dengan kata lain, dari hasil pengamatan radiosonde sulit untuk mengungkap fenomena seperti siklus tahunan yang mencakup daerah yang luas maupun wilayah global. Sebagaimana diketahui bahwa pengamatan vertikal atmosfer menggunakan radiosonde di wilayah Indonesia hanya di beberapa titik tertentu (<http://weather.uwyo.edu>) dan sangat sedikit titik yang memiliki data pengamatan kontinu dalam interval waktu lebih dari lima tahun, maka sulit untuk menganalisis secara umum dinamika atmosfer di lapisan troposfer dan stratosfer.

Hasil pengamatan vertikal atmosfer dari teknik GPSRO yang memiliki resolusi tinggi ini, memberikan peluang untuk menganalisis dinamika troposfer dan stratosfer (Noersomadi dan Hadi, 2010) di wilayah Indonesia. Penelitian ini memanfaatkan data profil temperatur dan kelembapan spesifik dari FORMOSAT-3/COSMIC GPSRO untuk memahami lebih rinci terkait dinamika atmosfer di atas wilayah Indonesia terutama di lapisan troposfer dan stratosfer. Penelitian ini lebih dititikberatkan pada analisis statistik data temperatur dan kelembapan hasil pengamatan GPSRO.

2. DATA DAN METODE

Penelitian ini menggunakan produk data level 2 oleh UCAR yang tersimpan di COSMIC Data Analysis and Archive Center / CDAAC (cdaac-www.cosmic-ucar.edu). Data yang dimaksud adalah hasil pengamatan satelit FORMOSAT-3/COSMIC GPSRO. Yakni data grid temperatur dan kelembapan dalam rentang 0 – 40 km dengan resolusi vertikal sebesar 100 m (Noersomadi, 2010), sepanjang lima tahun periode pengamatan terhitung sejak 1 Januari 2007 sampai dengan 31 Desember 2011. Oleh karena penelitian ini difokuskan pada lapisan troposfer dan stratosfer, maka

analisis lebih dititikberatkan pada rentang 0 – 10 km dan 20 – 30 km. Alasan pemilihan kedua rentang ketinggian dijelaskan pada bab berikutnya.

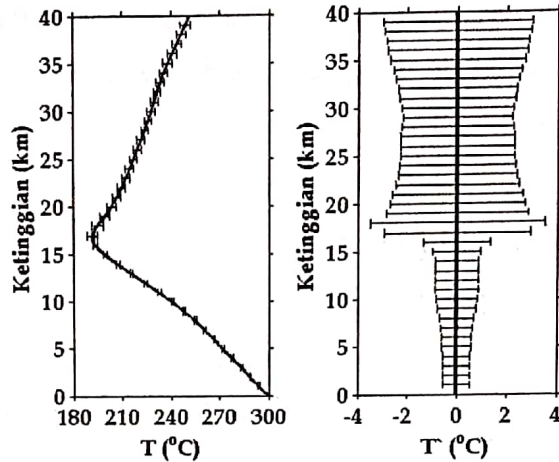
Untuk memahami dinamika di kedua lapisan atmosfer bawah digunakan analisis statistik dasar. Sebanyak 40 – 50 data vertikal atmosfer untuk satu hari pengamatan, yang masuk dalam wilayah Indonesia dalam batasan (90° – 150° BT dan 12° LS – 7° LU), dirata-ratakan menjadi satu profil dalam satu hari. Selanjutnya, dari 1826 data (5 tahun periode pengamatan), dihitung rata-rata dan deviasi untuk setiap ketinggian. Gambar 1 dan Gambar 2 memperlihatkan rata-rata profil temperatur dan kelembapan spesifik di wilayah Indonesia berdasarkan pengamatan satelit FORMOSAT-3/COSMIC GPSRO.

Analisis dinamika di lapisan troposfer dan stratosfer dilakukan melalui penghitungan anomali data vertikal temperatur (Randel dan Wu, 2005) dan kelembapan spesifik. Untuk menunjukkan hubungan antara fluktuasi temperatur dan kelembapan spesifik di lapisan troposfer dilakukan dengan menghitung korelasi linier antara kedua variabel dan pembuatan diagram pencar (*scatter diagram*). Fluktuasi temperatur di lapisan stratosfer ditampilkan dalam bentuk kontur antara ketinggian terhadap waktu guna menunjukkan dinamika gelombang atmosfer. Sebagai pembanding dalam menganalisis fluktuasi temperatur di ketinggian 20 – 30 km, penelitian ini juga menggunakan data harian angin zonal NCEP reanalysis (<http://www.esrl.noaa.gov/>).

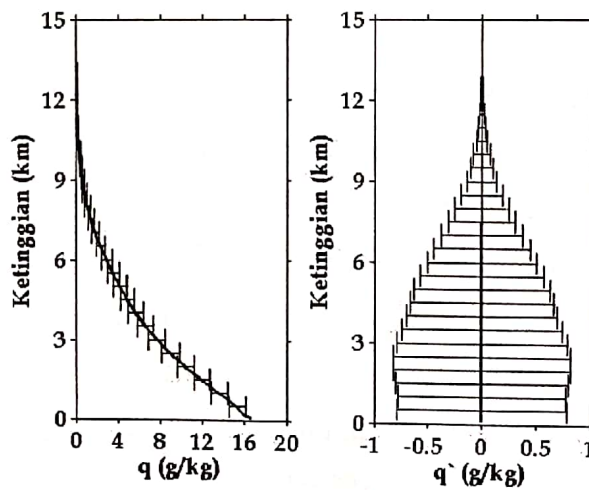
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil rata-rata dan deviasi temperatur serta kelembapan spesifik diperlihatkan dalam Gambar 1 dan Gambar 2. Nilai rata-rata temperatur dan kelembapan spesifik pada ketinggian 100 m berturut-turut sebesar 299,97 K dan 16,6 g/kg. Penelitian ini hanya dapat menyebutkan nilai rata-rata pada ketinggian 100 m oleh karena ketidakterersediaan data (*missing data*) dari hasil pengamatan GPSRO di permukaan. Terlihat bahwa deviasi temperatur di lapisan troposfer lebih kecil dibandingkan di stratosfer, yang juga terlihat pada anomalinya. Rata-rata temperatur minimum di lapisan tropopause (*cold point tropopause*) adalah 192,03 K dengan deviasi 2,76 K di ketinggian 17 km, dimana nilai kelembapan spesifik adalah 0,0023 g/kg dengan deviasi $6,42 \times 10^{-4}$ g/kg. Pada Gambar 2 deviasi kelembapan spesifik kurang dari 1 g/kg atau relatif kecil. Hal ini menunjukkan hasil pengamatan GPSRO konsisten terhadap teori bahwa wilayah Indonesia yang berada di ekuator memiliki kandungan uap air tinggi dengan fluktuasi temperatur yang rendah di troposfer (Holton, 2004). Nilai kelembapan spesifik yang mendekati nol di atas ketinggian 10 km memperlihatkan bahwa kandungan uap air di troposfer hanya terjebak di bawah 10 km. Hal ini menjadi dasar sebagai analisis selanjutnya dalam mencari hubungan antara anomali temperatur dan kelembapan.

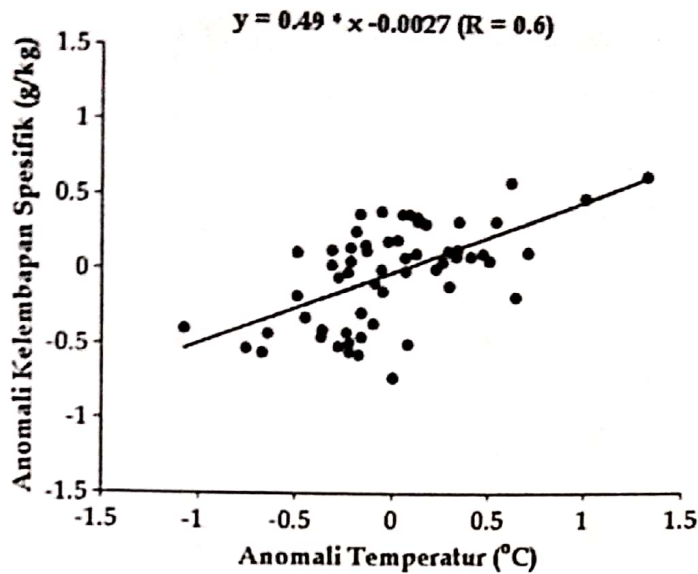
Hubungan antara anomali temperatur dan kelembapan diperlihatkan dalam Gambar 3 dengan nilai korelasi sebesar 0,6 dengan gradien persamaan linier sebesar 0,49. Hal tersebut konsisten dengan yang telah diketahui bahwa temperatur tinggi akan menaikkan kapasitas uap air. Dengan demikian kandungan uap air menjadi lebih tinggi pula. Gambar 4 menggambarkan pola siklus tahunan dimana hasil ini memperkuat korelasi positif yang ditunjukkan oleh diagram pencar pada Gambar 3.



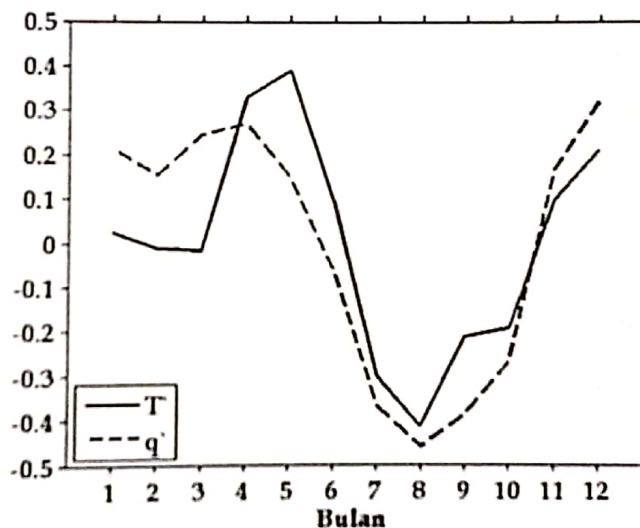
Gambar 11. Rata-rata (kanan) dan anomali (kiri) profil temperatur di wilayah Indonesia, serta deviasi pada setiap ketinggian 100 m.



Gambar 12. Sama dengan Gambar 1 untuk profil kelembapan spesifik.

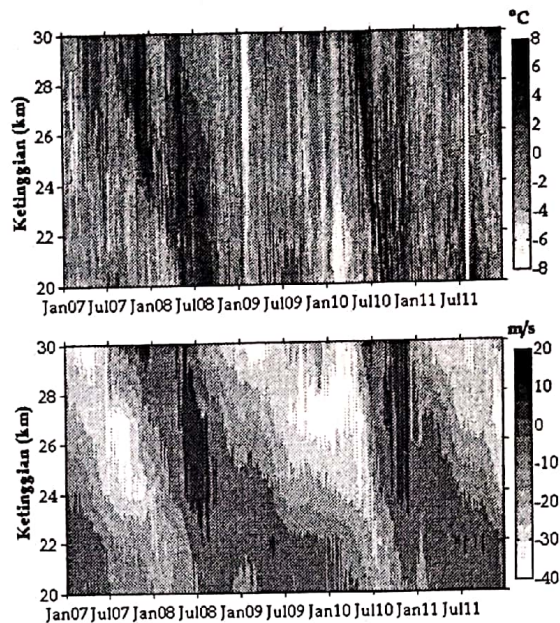


Gambar 13. Diagram pencar anomali temperatur dan anomali kelembapan spesifik.



Gambar 14. Rata-rata bulanan anomali temperatur dan anomali kelembapan spesifik pada rentang ketinggian 0 – 10 km.

Nilai anomali positif kelembapan spesifik pada bulan November – Februari dan mencapai puncak pada bulan April memperlihatkan bahwa kandungan uap air di wilayah Indonesia dipengaruhi oleh posisi semu matahari. Telah diketahui bahwa pada periode November – Februari posisi semu matahari berada di belahan bumi selatan yang berarti lebih banyak pemanasan dan penguapan. Apabila ditinjau pula dari segi batasan wilayah yang telah disebutkan pada bab sebelumnya, maka dapat diketahui pula penyebab kenyataan ini. Yaitu, wilayah Indonesia sebagian besar berada dalam zona belahan bumi selatan.



Gambar 15. Diagram ketinggian terhadap waktu anomali temperatur FORMOSAT-3/COSMIC GPSRO (atas) dan rata-rata angin zonal dari NCEP reanalysis (bawah).

Fluktuasi temperatur di lapisan stratosfer pada ketinggian 20 – 30 km memperlihatkan dinamika gangguan gelombang atmosfer (Gambar 5) yang dikenal dengan *Quasi Biennial Oscillation (QBO)*, sesuai dengan hasil Randel dan Wu (2005). Rentang ketinggian tersebut dipilih karena QBO lebih tampak signifikan pada stratosfer bawah (Baldwin, et.al. 2001). Osilasi yang terlihat pada fluktuasi temperatur diperlihatkan pula dari data angin zonal dari NCEP reanalysis. Anomali positif bersamaan dengan fasa baratan QBO, dan sebaliknya anomali negatif bersamaan dengan fasa timuran QBO (Alexander, et.al. 2008).

4. KESIMPULAN

Analisis statistik terhadap data vertikal temperatur dan kelembapan spesifik hasil pengamatan FORMOSAT-3/COSMIC GPSRO menunjukkan korelasi positif sebesar 0,6. Keterkaitan antara anomali temperatur dan anomali kelembapan ini menggambarkan pola siklus tahunan. Fluktuasi temperatur di lapisan stratosfer menggambarkan dinamika gelombang atmosfer yang dikenal sebagai QBO. Hasil analisis statistik ini menunjukkan bahwa data pengamatan satelit FORMOSAT-3/COSMIC GPSRO dapat dimanfaatkan untuk kajian dinamika atmosfer skala meso.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *COSMIC Data Analysis and Archive Center (CDAAC)* yang telah menyediakan data profil atmosfer hasil pengukuran FORMOSAT-3/COSMICGPSRO. Demikian pula kepada NOAA *Climate Data Centreyang* telah menyediakan akses data

reanalysis. Penelitian ini didanai oleh anggaran DIPA Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer tahun 2012.

DAFTAR RUJUKAN

- Anthes, R.A., D. Ector, D. C. Hunt, Y-H. Kuo, C. Rocken, W. S. Schreiner, S. V. Sokolovskiy, S. Syndergaard, T-K. Wee, Z. Zeng, P. A. Bernhardt and K. F. Dymond, Y. Chen, H. Liu, K. Manning, W. J. Randel, and K. E. Trenberth, L. Cucurull, S. B. Healy, S-P. Ho, C. McCormick, T. K. Meehan, D. C. Thompson, and N. L. Yen. The COSMIC/FORMOSAT-3 Mission: Early Results. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 89: 313–333. doi: 10.1175/BAMS-89-3-313. 2008.
- Ware, R., M. Exner, D. Feng, M. Gorbunov, K. Hardy, B. Herman, Y. Kuo, T. Meehan, W. Melbourne, C. Rocken, W. Schreiner, S. Sokolovskiy, F. Solheim, X. Zou, R. Anthes, S. Businger, and K. Trenberth. GPS sounding of the atmosphere from low earth orbit: Preliminary Results. *Bull. Am. Meteor. Soc.* 77: 19–40. 1996.
- Koh, T.Y., Y.S. Djamil, and C.K. Teo. Statistical dynamics of tropical wind in radiosonde data. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 4177–4189, 2011.
- Tsuda, T., T.E. VanZandt, M. Mizumoto, S. Kato, and S. Fukao, Spectral Analysis of Temperature and Brunt-Vaisala Frequency Fluctuations Observed by Radiosondes, *Journal of Geophysical Research*, 96, NO.D9, Pages 17, 265-17, 278. 1991.
- Wu, Y., J. Xu, W. Yuan, H. Chen, and J. Bian. Spectral analysis of 10-m resolution temperature profiles from balloon soundings over Beijing. *Ann. Geophys.*, 24, 1801-1808, 2006.
- Noersomadi, and T. W. Hadi. Downward Propagating Equatorial Kelvin Wave over the Eastern Indian Ocean as Revealed from Radiosonde and GPS Radio Occultation (CHAMP) Data. *J. Matematika dan Sains*. 15(1): 39-45. 2010.
- Noersomadi. Aplikasi Data GPS Radio Occultation untuk Studi Dinamika Atmosfer. *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2010*. ISBN : 978-979-98010-6-7. 2010.
- Randel, W.J., and F. Wu. Kelvin wave variability near the equatorial tropopause observed in GPS radio occultation measurements. *J. Geoph. Research*, 110, D03102, doi: 10.1029/2004JD005006. 2005.
- Holton, J.R. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Elsevier Academic Press. 2004.
- Baldwin, M.P., L. J. Gray, T. J. Dunkerton, K. Hamilton, P. H. Haynes, W. J. Randel, J. R. Holton, M. J. Alexander, I. Hirota, T. Horinouchi, D. B. A. Jones, J. S. Kinnersley, C. Marquardt, K. Sato, and M. Takahashi. The Quasi-Biennial Oscillation. *Reviews of Geophysics*, 39, 2001.
- Alexander, S.P., T. Tsuda, Y. Kawatani, and M. Takahashi. Global distribution of atmospheric waves in the equatorial upper troposphere and lower stratosphere : COSMIC observations of wave mean flow interactions. *J. Geoph. Research*, 113, D24115, doi:10.1029/2008JD010039, 2008.