

POTENSI PENGINDERAAN ATMOSFER MENGGUNAKAN TEKNIK GPSRO UNTUK ANALISIS CUACA

Noersomadi, Tiin Sinatra, dan Halimurrahman
Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Email: noersomadi@gmail.com, noersomadi@bdg.lapan.go.id

ABSTRAK

Global Positioning Satellite Radio Occultation (GPSRO) merupakan teknik penginderaan atmosfer berbasis satelit GPS. Pengamatan GPSRO ini menghasilkan data vertikal melalui pengukuran indeks refraktifitas atmosfer. Dalam penelitian ini telah dilakukan analisis terhadap data level 2 hasil okultasi satelit COSMIC, SACC, GRACE, METOPA, dan TERRASARX. Data tersebut merupakan rekaman parameter tekanan, temperatur, dan tekanan uap. Parameter tekanan uap dapat dijadikan input untuk menurunkan data kandungan uap air di atmosfer. Data pengamatan atmosfer dengan teknik GPSRO ini memiliki potensi sebagai input dalam menganalisis variasi cuaca baik secara spasial maupun temporal. Untuk menunjukkan bahwa pengamatan GPSRO memiliki tingkat akurasi tinggi, maka dilakukan perbandingan data GPSRO terhadap observasi menggunakan radiosonde. Selisih data temperatur pengamatan kelima satelit tersebut dengan pengamatan radiosonde di Jakarta memiliki rata-rata sebesar $0,22^{\circ}\text{C}$. Nilai rata-rata bias data temperatur, kelembapan spesifik, dan kelembapan relatif GPSRO dan NCEP Reanalysis berturut-turut sebesar $0,2^{\circ}\text{C}$, $0,05\text{ g/kg}$, dan $-0,95\%$. Oleh karena itu, data pengamatan GPSRO dapat dimanfaatkan sebagai input tambahan dalam pengembangan model prediksi cuaca tiga dimensi.

Kata kunci: GPSRO, Reanalisis NCEP

ABSTRACT

Global Positioning Satellite Radio Occultation (GPSRO) is the atmospheric remote sensing technique based on GPS satellite. GPSRO observations provide vertical atmospheric profile through refractivity index measurement. In this research, analyzing on level 2 data (temperature, pressure, and vapor pressure) from COSMIC, SACC, GRACE, METOPA, and TERRASARX satellites has been

conducted. Vapor pressure data could be utilized to derive atmospheric water vapor contents. Atmospheric profiles observed by GPSRO have important role that could be utilized for both spatial and temporal weather analysis. To show the accuracy of GPSRO data, it has been done on comparing them with radiosonde data. The difference of temperature data from five satellites and radiosonde launched in Jakarta is meanly 0.22°C . The mean of bias error of temperature, specific humidity, and also relative humidity between GPSRO and NCEP Reanalysis data are 0.2°C , 0.05 g/kg , and -0.95% respectively. Therefore, GPSRO data could be utilized as the additional input on developing three dimensional weather prediction models.

Key words: GPSRO, NCEP Reanalysis

1 PENDAHULUAN

Pemahaman mengenai dinamika atmosfer dan pembangunan suatu model akan semakin baik dan akurat jika dibangun dengan data observasi yang persisten dan lengkap. Berdasarkan tekniknya, observasi atmosfer terbagi menjadi pengamatan insitu dan penginderaan jauh. Contoh pengamatan insitu meliputi *Automatic Weather System* (AWS), observasi radar, dan peluncuran balon radiosonde. Adapun observasi berbasis penginderaan jauh, terdapat pengamatan satelit aktif maupun pasif, serta teknik yang dikenal dengan *Global Positioning System Radio Occultation* (GPSRO).

GPSRO merupakan salah satu teknik penginderaan jauh berbasis satelit GPS yang mulai dikembangkan tahun 90-an (Ware, et.al., 1996). Teknik GPSRO mampu menghasilkan indeks refraktifitas ionosfer dan atmosfer global melalui pengukuran sudut pembelokan sinyal yang diterima oleh satelit *Low Earth Orbital*. Profil densitas elektron di lapisan ionosfer (Tsuda, et.al., 2004), serta data vertikal tekanan, temperatur, dan kelembapan di atmosfer dapat dihitung melalui penerapan analisis metode inversi (Mousa, et.al., 2004).

Misi pertama GPSRO adalah eksperimen *GPS/Meteorology* (GPS/MET) hasil kerjasama *University Corporation for Atmospheric Research* (UCAR) dan *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) pada tahun 1995. Kurang lebih setengah hingga satu dekade setelah

eksperimen GPS/MET, banyak dikembangkan satelit lain seperti (Wickert, et.al. 2001), *Challenging Minisatellite Payload* (CHAMP), *Satellite de Aplicaciones Saintificas – C* (SACC), *Gravity Recovery and Climate Experiment* (GRACE). Pada tahun 2006, telah diluncurkan enam satelit LEO hasil kerjasama UCAR dan National Space Organization (NSPO) – Taiwan, yang dinamakan *Constellation Observing Satellites for Meteorology, Ionosphere, and Climate* (FORMOSAT-3/COSMIC), sebagaimana diungkapkan oleh (Anthes, et.al. 2008). Misi satelit yang baru adalah Meteorological Operational Polar Satellite – A (Metop-A) dan Terrasar-X.

Kunci terpenting dari suatu teknik penginderaan jauh adalah keakuratan dan resolusinya. Oleh karena itu, penelitian kali ini perlu dilakukan untuk mengetahui bagaimana akurasi dari pengamatan GPSRO dari kelima misi (COSMIC, GRACE, SACC, METOP-A, dan Terrasar-X) dengan menggunakan data pembanding radiosonde dan data atmosfer global *National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Reanalysis*. Dengan mengetahui tingkat keakurasiannya, data GPSRO diharapkan untuk selanjutnya dapat dimanfaatkan guna menganalisis dinamika atmosfer global. Dalam hal ini, terkait pemahaman analisis cuaca atau pun bahan pertimbangan sebagai input tambahan dalam pengembangan model prediksi cuaca tiga dimensi.

2 DATA DAN METODOLOGI

Untuk menunjukkan potensi penginderaan atmosfer berbasis teknik GPSRO, telah dilakukan pembandingan data GPSRO dengan pengamatan radiosonde. Dalam penelitian ini digunakan data GPSRO berupa profil temperatur dan kelembapan dari lima satelit, yaitu COSMIC, GRACE, SACC, MetOp-A, dan TerraSAR-X (<http://cosmic-io.cosmic.ucar.edu/>) selama periode satu tahun. Dalam hal ini dipilih tahun 2009 karena pertimbangan kelengkapan data untuk kelima satelit tersebut.

Data pembanding adalah data radiosonde di Jakarta dari sistem basis data milik *University of Wyoming* (<http://weather.uwyo.edu>), serta data atmosfer global NCEP Reanalysis (<http://www.esrl.noaa.gov>). Menurut (Ho, et.al. 2010)

untuk perbandingan data GPSRO dan radiosonde dengan ketidaksesuaian temporal maupun spasial yang minimum, maka data GPSRO dipilih sedemikian rupa lokasi okultasi dengan jarak kurang dari 300 km dan waktu kejadian kurang dari 2 jam. Akan tetapi, karena dalam penelitian ini digunakan data radiosonde di wilayah Jakarta yang terletak di wilayah ekuator, maka dipilih data GPSRO yang terletak dalam radius 400 km dan kurang dari 6 jam.

Data tekanan udara, temperatur, dan tekanan uap dari GPSRO digunakan untuk menurunkan parameter kelembapan relatif dan kelembapan spesifik (persamaan 1 dan 2). Data GPSRO dan radiosonde dipilih pada ketinggian 850 mb yang kemudian diterapkan metode perata-rataan data kelima satelit dan interpolasi sederhana untuk mengubah menjadi data grid dengan ukuran 2,5° x 2,5°.

$$r = 0,622 \times \frac{e}{p-e} \tag{1}$$

$$RH = \frac{e}{e^*} \times 100\% \tag{2}$$

dimana

$$e^* = (1,0007 + 3,46 \times 10^{-6}p) \times 6,1121 \times \exp(17,502T/240,97 + T)$$

r = kelembapan spesifik

e = tekanan uap air

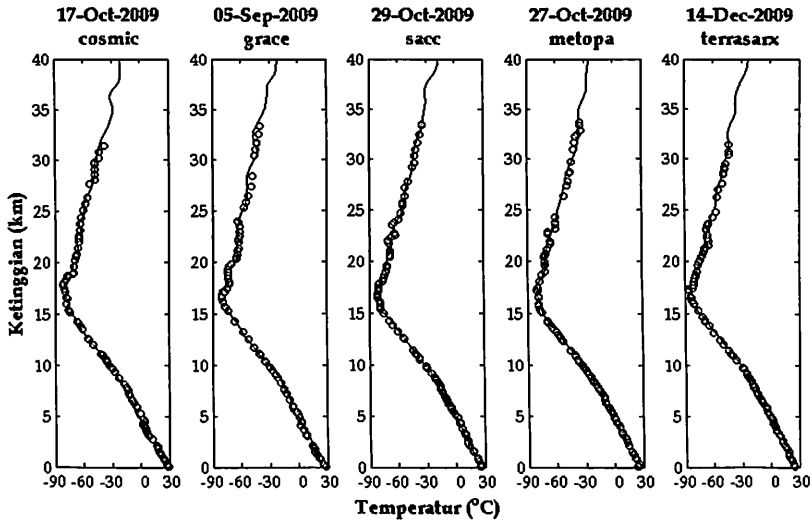
p = tekanan udara

RH = kelembapan relatif

T = temperatur udara

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

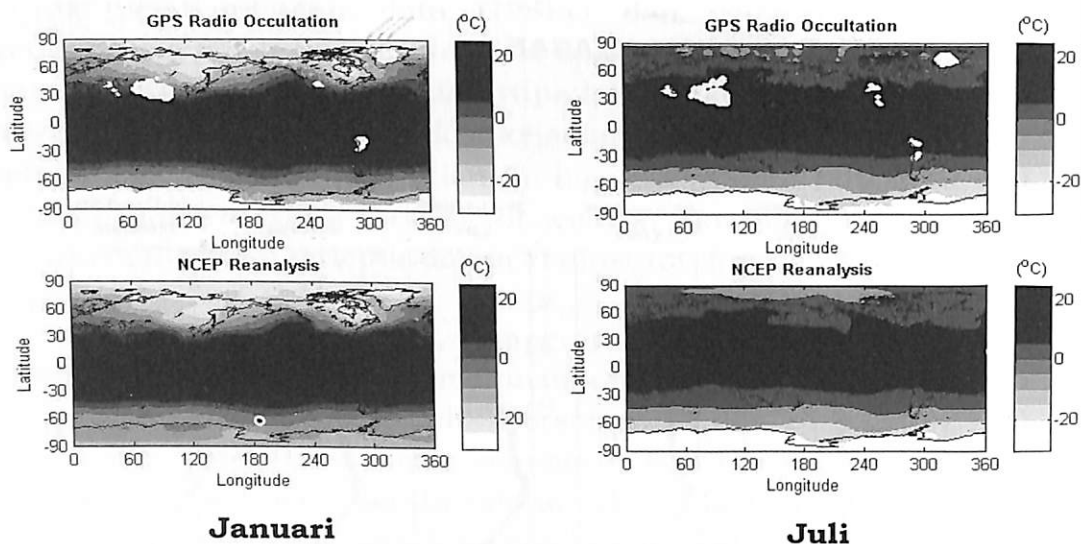
3.1 HASIL



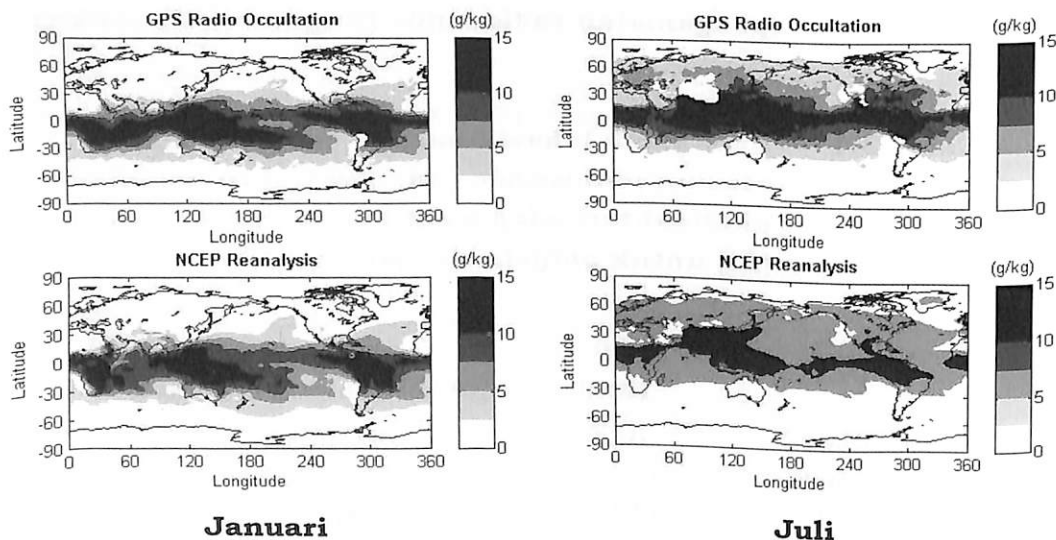
Gambar 3.1 Profil temperatur dari pengamatan tiap satelit (garis penuh) yang paling dekat dengan lokasi pengamatan radiosonde (lingkaran) di Jakarta.

Tabel 3.1 Beda jarak lokasi okultasi satelit terhadap stasiun radiosonde (Δd) dan waktu kejadian okultasi terhadap waktu pengamatan radiosonde (Δt) untuk penjelasan Gambar 3.1.

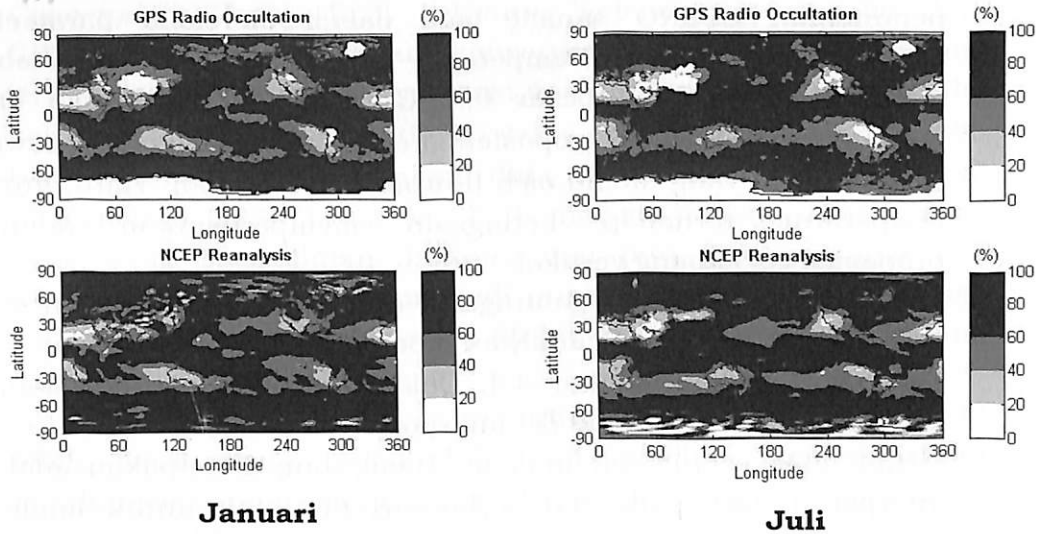
Satelit	Δd (km)	Δt (jam:menit:detik)
COSMIC	40,72	3:05:49
GRACE	150,35	4:26
SACC	122,33	1:07
METOPA	106,15	3:05:59
TERRASARX	150,35	0:34:31



Gambar 3.2 Data temperatur kelima misi satelit GPSRO (atas) dan NCEP reanalysis (bawah) pada ketinggian 850 mb, pada bulan Januari dan Juli.



Gambar 3.3 Data kelembapan spesifik kelima misi satelit GPSRO (atas) dan NCEP reanalysis (bawah) pada ketinggian 850 mb, pada bulan Januari dan Juli.



Gambar 3.4 Data kelembapan relatif kelima misi satelit GPSRO (atas) dan NCEP reanalysis (bawah) pada ketinggian 850 mb, pada bulan Januari dan Juli.

3.2 PEMBAHASAN

Gambar 3.1 di atas memperlihatkan profil temperatur dari tiap misi GPSRO dan data radiosonde. Data yang ditampilkan adalah data GPSRO yang pemindaianya sampai dekat permukaan dengan maksud untuk memperlihatkan perbandingan data GPSRO dan radiosonde hingga ke permukaan. Dalam penelitian ini hanya difokuskan perbandingan satu studi kasus pengamatan radiosonde, yang mana pencapaian pengamatan hingga lebih dari 30 km (Gambar 3.1). Keterangan beda jarak dan waktu kejadian okultasi terhadap pengamatan radiosonde ditampilkan dalam Tabel 3.1. Kejadian okultasi dipilih yang memiliki rentang waktu dan jarak paling mendekati waktu dan tempat peluncuran radiosonde.

Tampak bahwa kelima profil temperatur dari tiap misi GPSRO yang diperlihatkan pada Gambar 3.1 memiliki pola yang sama terhadap pengamatan radiosonde dengan nilai korelasi rata-rata sebesar 0,9. Baik di lapisan troposfer maupun di lapisan tropopause hingga stratosfer bawah atau di atas 16 km, hasil

pemindaian GPSRO sangat baik dalam merekam parameter atmosfer. Selisih data temperatur dari kelima satelit tersebut memiliki nilai bias sebesar $0,22^{\circ}\text{C}$. Terlihat pula bagian dari dinamika di lapisan troposfer atas hingga stratosfer bawah sebagaimana yang diteliti oleh (Ratnam, et.al. 2006). Yaitu, kurva temperatur terhadap ketinggian memperlihatkan adanya propagasi gelombang vertikal.

Pembandingan gabungan data lima satelit GPSRO terhadap data NCEP Reanalysis diperlihatkan pada Gambar 3.2, Gambar 3.3, dan Gambar 3.4. Dalam hal ini, hasil pengolahan data menggunakan teknik interpolasi sederhana untuk satu tahun tidak semua ditampilkan. Hasil yang ditampilkan adalah interpolasi data pada bulan Januari dan Juli untuk analisis terkait dengan posisi semu matahari. Parameter temperatur, kelembapan spesifik, serta kelembapan relatif dibuat menjadi data grid. Dipilih data pada level 850 mb dengan dasar bahwa lapisan atmosfer di ketinggian tersebut sudah tidak dipengaruhi oleh turbulensi permukaan (Holton, 2004). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa dinamika atmosfer pada level 850 mb dipengaruhi oleh perubahan termal atmosfer akibat perubahan posisi semu matahari.

Hasil interpolasi data temperatur dari kelima misi satelit GPSRO memperlihatkan pola yang sama dengan data NCEP Reanalysis pada bulan Januari. Tampak bahwa pada bulan Januari di bagian selatan bumi seperti Afrika Selatan dan Australia menunjukkan temperatur maksimum sebesar 25°C . Sebaliknya, pada bulan Juli temperatur maksimum terlihat di sebagian besar wilayah Afrika Utara dan Asia. Akan tetapi, hal yang menarik adalah terdapat perbedaan kontras yang ditunjukkan oleh data GPSRO. Yaitu, di sekitar wilayah lepas pantai Columbia, Ekuador, dan Peru memperlihatkan pola yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh pengaruh estimasi interpolasi sederhana dalam pengubahan data titik okultasi menjadi data grid. Nilai bias data temperatur GPSRO terhadap NCEP Reanalysis untuk satu tahun berdasarkan data eksperimen adalah sebesar $0,2^{\circ}\text{C}$.

Gambar 3.3 mendeskripsikan kesamaan pola parameter kelembapan spesifik. Terlihat bahwa GPSRO dan NCEP Reanalysis sama-sama menunjukkan dinamika *Intertropical*

Convergence Zone (ITCZ) . Kontur kelembapan spesifik data GPSRO menunjukkan pusat konvergensi atau sabuk ITCZ yang lebih terperinci. Pusat konvergensi uap air diindikasikan oleh nilai kelembapan spesifik yang tinggi, yakni sebesar 12 – 15 g/kg. Nilai bias rata-rata perbandingan data kelembapan spesifik hasil pengamatan GPSRO dan NCEP Reanalysis adalah sebesar 0,05 g/kg. Baik pada bulan Januari atau pun Juli, terdapat tiga wilayah di ekuator yang menjadi pusat aktifitas konveksi. Ketiga wilayah tersebut adalah Benua Afrika, Benua Maritim Indonesia, dan Amerika.

Posisi semu matahari di utara menyebabkan penguapan lebih besar pada bulan Juli. Hal tersebut mengakibatkan kandungan uap air makin tinggi di wilayah Afrika, sebagian besar Asia, hingga bagian utara Amerika. Pada waktu yang sama pula konvergensi di lautan pasifik yang diperlihatkan oleh data GPSRO tampak beralih ke bagian utara.

Kontur kelembapan relatif data GPSRO dan NCEP Reanalysis ditunjukkan pada Gambar 3.3. Parameter kelembapan relatif merupakan parameter yang merepresentasikan persentase uap air yang berkondensasi. Berdasarkan persamaan (2), kelembapan relatif dipengaruhi oleh besarnya temperatur, tekanan udara, dan tekanan uap. Oleh karena itu, pola yang diperlihatkan pada Gambar 3.3 tidak serupa dengan pola kelembapan spesifik. Akan tetapi, dinamika ITCZ pada bulan Januari dan Juli tetap diperlihatkan oleh kelembapan relatif kedua data tersebut. Hal ini menjadi bukti bahwa aktifitas konveksi dapat ditunjukkan oleh nilai kandungan uap air yang tinggi pada level 850 mb.

Nilai kelembapan relatif yang tinggi belum tentu mencerminkan kandungan uap air yang tinggi pula, sebagaimana terlihat di wilayah kutub. Sebab, di wilayah kutub, temperatur yang dingin menyebabkan penurunan kapasitas kandungan uap air. Nilai bias data GPSRO yang telah diinterpolasi menjadi grid terhadap data NCEP Reanalysis adalah sebesar -0,95% atau mendekati -1%.

Dari ketiga kontur GPSRO (temperatur, kelembapan spesifik, dan kelembapan relatif), terlihat bahwa di wilayah Pegunungan Tibet dan *Greenland* tidak ada data. Hal ini disebabkan oleh kondisi topografi yang tinggi mengakibatkan

tekanan udara di permukaan puncak kedua pegunungan kurang dari 850 mb.

4 KESIMPULAN

Pembandingan data GPSRO terhadap pengamatan radiosonde memperlihatkan korelasi tinggi. Penerapan metode interpolasi sederhana dilakukan untuk mengubah kumpulan data titik okultasi dari lima satelit (COSMIC, GRACE, SACC, METOP-A, dan Terrasar-X) menjadi data grid $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$. Hasil data grid GPSRO yang dibandingkan terhadap data NCEP Reanalysis memiliki kesamaan pola dimana keduanya sama-sama menunjukkan dinamika atmosfer akibat perubahan posisi semu matahari di bulan Januari dan Juli. Nilai bias rata-rata parameter temperatur adalah sebesar $0,2^{\circ}\text{C}$. Adapun untuk parameter turunan kelembapan spesifik, dan kelembapan relatif masing-masing memiliki nilai bias sebesar $0,05 \text{ g/kg}$ dan $-0,95\%$. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat potensi dari data GPSRO hasil pengamatan multi satelit untuk kajian analisis cuaca lebih lanjut, atau pun sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan model prediksi cuaca tiga dimensi.

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 (2008), The COSMIC/FORMOSAT-3 Mission: Early Results. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 89, 313–333. doi: 10.1175/BAMS-89-3-313.
- Ho, Shu-peng, Zhou, X., Kuo, Y.H., Hunt, D., Wang, J.H. (2010): Global Evaluation of Radio Occultation from COSMIC and ECMWF Analysis. *Remote Sensing Journal*. ISSN 2072-4292.

- Holton, J.R., (2004): An Introduction to Dynamic Meteorology Fourth Edition, *Elsevier Academic Press*.
- Mousa, A., Tsuda, T., (2004): Inversion Algorithms for GPS Downward Looking Occultation Data: Simulation Analysis, *J. Meteor. Soc. Japan.*, 82, 427-432.
- Ratnam, M.V., Tsuda, T., Mouri, S., Kozu, T., (2006): Modulation of Tropopause Temperature Structure Revealed by Simultaneous Radiosonde and CHAMP GPS Measurements, *J. Meteor. Soc. Japan.*, 84, 989-1003.
- Tsuda, T., Hocke, K., (2004): Application of GPS Radio Occultation Data for Studies of Atmospheric Waves in the Middle Atmosphere and Ionosphere, *J. Meteor. Soc. Japan.*, 82, 419-426.
- 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. (1996): GPS sounding of the atmosphere from low earth orbit: Preliminary Results. *Bull. Am. Meteor. Soc.* 77: 19-40.
- Wickert, J., Reigber, C., Beyerle, G., Konig, R., Marquardt, C., Schmidt, T., Grunwalt, L., Galas, R., Meehan, T.K., Melbourne, W.G., Hocke, K. (2001): Atmospheric Sounding By GPS Radio Occultation: First results from CHAMP, *Geophys. Res. Lett.* 28: 3263-3266.
- Wrasse, C.M., Fehine, J., Takahashi, H., Denardini, C.M., Wickert, J., Mlynczak, M.G., Russel, J.M., Barbosa, C.L., (2008): Temperature comparison between CHAMP radio occultation and TIMED/SABER measurements in the lower stratosphere, *ASR. Elsevier*, 41, 1423-1428.

Acknowledgement

Penelitian ini didukung oleh anggaran DIPA LAPAN tahun 2012. Kami juga menyampaikan terima kasih kepada Cosmic Data Archive Center (CDAAC) yang menyediakan data GPSRO. Data NCEP Reanalysis diperoleh dari NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, di situs <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>.