

PENENTUAN ZENITH TROPOSPHERIC DELAY DAN PRECIPITABLE WATER VAPOR MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK GAMIT

Heri Gusfarienza¹, Bambang Darmo Yuwono¹, Moehammad Awaluddin¹, Susilo^{2*)}

¹ Program Studi Teknik Geodesi

² Badan Informasi Geospasial

Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang, Semarang, Telp. (024) 76480785, 76480788
e-mail: geodesi@undip.ac.id

Abstrak

Sinyal - sinyal dari setiap satelit Global Positioning System (GPS) yang mengorbit diatas permukaan bumi akan diterima oleh alat penerima dengan sebelumnya melalui lapisan atmosfer. Sinyal yang berupa gelombang elektromagnetik akan mengalami hambatan terbesar di lapisan ionosfer dan troposfer. Besarnya penyimpangan jarak akibat perlambatan waktu tempuh sinyal saat melewati lapisan troposfer umumnya disebut delay troposfer. Besaran ini juga dapat diekstraksi menjadikandungan uap air menggunakan data meteorologi permukaan. Dalam penelitian tugas akhir ini, dilakukan penentuan delay troposfer dan kandungan uap air menggunakan perangkat lunak ilmiah GAMIT dimulai pada doy 090 sampai 096 pada tahun 2014. Dengan memanfaatkan 10 titik pengamatan GPS CORS Badan Informasi Geospasial di Bantul, Cilacap, Kebumen, Magelang, Purbalingga, Pekalongan, Purwodadi, Semarang, Solo, dan Tegal. Serta diikatkan di 4 titik ikat IGS, diantaranya: Stasiun ALIC, COCO, NTUS, dan PIMO. Penelitian tugas akhir ini menghasilkan nilai variasi temporal delay troposfer di titik pengamatan berkisar antara 2446.2 - 2754.5 mm dan nilai variasi temporal kandungan uap air berkisar antara 38.81 - 64.46 mm. Adapun hasil validasi antara data ZPD di Stasiun IGS dengan ZTD hasil pengolahan diperoleh rerata RMS error 5.599 mm dengan korelasi 97.73% untuk project spza, 5.425 mm dengan korelasi 97.86% untuk project spzb, dan 10.462 mm dengan korelasi 92,99% untuk project spzc.

Kata Kunci: Delay Troposfer; GAMIT; GPS; Kandungan Uap Air

Abstract

The signals from each Global Positioning System (GPS) satellites that orbiting above the earth's surface will be received by a receiver through the layers of atmosphere. The signal that in electromagnetic waves form will experience the biggest obstacle in ionosphere and troposphere. The amount of deviation due to a slowdown in signal's travel time as it passes through the troposphere called tropospheric delay. This measurement can also be extracted into precipitable water vapour by using the surface meteorological data. This study was conducted to determine the zenith tropospheric delay and precipitable water vapour using scientific software GAMIT starts from doy 090 to 096 in 2014. By utilizing 10 GPS CORS observation points owned by Badan Informasi Geospasial in Bantul, Cilacap, Kebumen, Magelang, Purbalingga, Pekalongan, Purwodadi, Semarang, Solo, and Tegal. It also connected to 4 area points of IGS, that are: ALIC, COCO, NTUS, and PIMO Station. This research produces the value of temporal variation in zenith tropospheric delay observation point ranges between 2446.2 - 2754.5 mm and the value of temporal variation of precipitable water vapor ranges between 38.81 - 64.46 mm. The validation results between the ZPD data in IGS Station and the ZTD that was processed by GAMIT is 5.599 mm of RMS error average with a 97.73% of correlation for the spza project, 5.425 mm with a 97.86% of correlation for the spzb project, and 10.462 mm with a 92.99% of correlation for the spzc project.

Keywords: GAMIT; GPS; Precipitable Water Vapor; Zenith Tropospheric Delay

*) Penulis Penanggung Jawab

1. Pendahuluan

Zenith Tropospheric Delay (ZTD) merupakan besarnya penyimpangan jarak yang disebabkan oleh perlambatan waktu tempuh sinyal GPS saat melewati lapisan troposfer. Besaran ini diperlukan untuk mengkoreksi efek troposfer pada penentuan posisi akhir suatu titik dengan GPS. Selain itu, besaran ini dapat digunakan untuk mengkararakteristik dan menganalisis kondisi troposfer di sekitar daerah pengamatan, dalam penelitian ini seperti penentuan *Precipitable Water Vapor (PWV)* pada lapisan troposfer.

Oleh karena itu, dengan memanfaatkan GPS *Continuously Operating Reference Station (CORS)* Badan Informasi Geospasial, pada penelitian ini akan dilakukan pengolahan data hasil pengamatan GPS dengan menggunakan *Scientific Software GAMIT (GPS Analysis of Massachusetts Institute of Technology)*. Yang mana selanjutnya digunakan untuk melakukan penentuan ZTD dan PWV di lokasi penelitian.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- 1) Berapakah validasi nilai ZTD dari hasil pengolahan GAMIT di stasiun IGS dengan nilai *Zenith Path Delay (ZPD)* yang disediakan oleh *Troposphere Working Group* dari *International GNSS Service (IGS)*?
- 2) Berapakah nilai variasi temporal ZTD di daerah penelitian?
- 3) Berapakah nilai variasi temporal PWV (kandungan uap air) di daerah penelitian?

Dalam penelitian ini memiliki batasan-batasan masalah sebagai berikut:

- 1) Daerah penelitian tugas akhir adalah 10 titik pengamatan GPS CORS BIG di Bantul, Cilacap, Kebumen, Magelang, Purbalingga, Pekalongan, Purwodadi, Semarang, Solo dan Tegal.
- 2) Menggunakan 4 titik ikat IGS, antara lain: ALIC di Alice Springs Australia, COCO di Cocos Island Australia, NTUS di Singapore dan PIMO di Quezon City Filipina.
- 3) Data penelitian ini selama 7 hari dimulai DOY (*Day of Year*) 090 sampai 096 periode 31 Maret - 06 April 2014.
- 4) *Interval zenith* dalam penelitian ini diestimasi setiap 30 menit.
- 5) Pengolahan data penelitian dalam tugas akhir ini menggunakan *software* GAMIT 10.5.

Adapun tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah:

- 1) Untuk menentukan nilai *delay* troposfer (ZTD) menggunakan teknik GPS.
- 2) Untuk menentukan nilai kandungan uap air (PWV) menggunakan teknik GPS.
- 3) Menganalisa perbedaan ZTD dari hasil pengolahan dengan ZPD yang dikeluarkan IGS.

2. Pelaksanaan Penelitian Persiapan

Lokasi Penelitian dalam tugas akhir dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data pendukung:

- 1) Data Primer, merupakan data yang harus ada dalam penelitian agar penelitian dapat dilaksanakan. Data yang termasuk dalam data primer adalah sebagai berikut:
 - a. Data pengamatan 10 stasiun CORS BIG yang terdiri dari stasiun CBTL, CCLP, CKBM, CMGL, CPBL, CPKL, CPWD, CSEM, CSLO, dan CTGL. Data ini berupa RINEX (*.YYo) yang merupakan hasil observasi *receiver* GPS terhadap satelit GPS.
 - b. Data pengamatan dari stasiun IGS yang berjumlah 4 stasiun yaitu ALIC, COCO, NTUS, dan PIMO.
 - c. Data meteorologi permukaan dari sensor meteorologi di titik pengamatan. Data ini berupa RINEX (*.YYm).
 - d. Data orbit satelit GPS, data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *ephemeris final orbit* dari IGS yang berupa RINEX (*.sp3) dan data *broadcast ephemeris* yang berekstensi (*.YYn).
- 2) Data Pendukung
 - a. Data *Zenith Path Delay (ZPD)* dari IGS. Data ini merupakan nilai ZTD hasil pengolahan versi IGS yang dapat didownload di <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/troposphere/zpd/>.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup dua jenis, yaitu:

- 1) Perangkat Keras (*Hardware*)
 - a. Perangkat PC
 - b. Laptop
- 2) Perangkat Lunak (*Software*)
 - a. GAMIT 10.5
 - b. *Matlab* 7.10.0 (R2010a)
 - c. *Microsoft Visio*, *Microsoft Excel* dan *Microsoft Word* 2010

Pelaksanaan

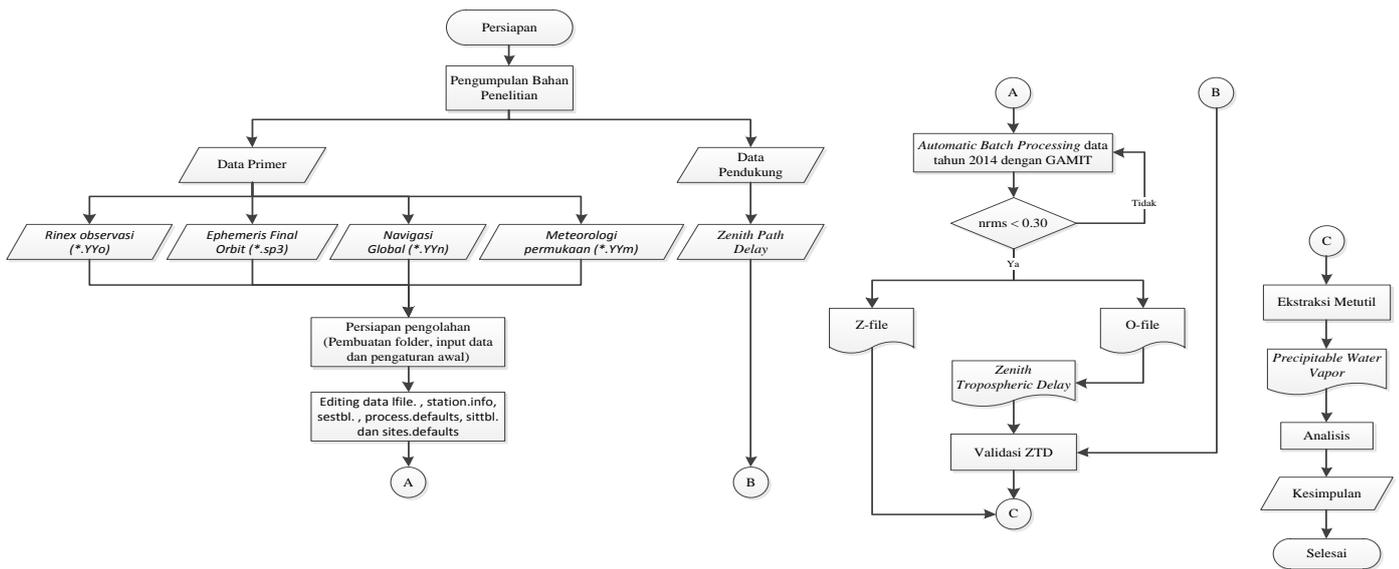
Dalam penelitian ini terdapat beberapa strategi pengolahan, hal ini dikarenakan setiap strategi pengolahan memiliki konfigurasi pada *sestbl*. yang berbeda satu dengan lainnya terkait dengan perolehan model pengamatan meteorologi maupun fungsi pemetaan yang digunakan. Strategi pengolahan tersebut antara lain:

- a. Spza. Perolehan model pengamatan meteorologi model *Global Pressure and Temperature* (GPT 50) yang mana dikembangkan oleh Boehm dan Schuh (2006). Dengan fungsi pemetaan *Global*

Mapping Functions (GMF) dari Boehm *et al.* (2006a).

- b. Spzb. Perolehan model pengamatan meteorologi model GPT 50. Dengan fungsi pemetaan *Niell Mapping Functions* (NMF) oleh Niell (1996).
- c. Spzc. Perolehan model pengamatan meteorologi RNX UFL GPT 50. Dengan fungsi pemetaan *Vienna Mapping Functions* (VMF1) dari Boehm *et al.* (2006b).

Adapun tahapan pelaksanaan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat dalam diagram alir pada **Gambar 2** di bawah ini:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Validasi ZTD terhadap nilai ZPD dilakukan pada *software matlab*. File yang dihasilkan dari ekstraksi *metutil* pada pengolahan dengan GAMIT yang berupa *met-file* masih dalam bentuk *UNIX*. Sehingga *file* tersebut dikonversi ke *xls* lalu dilakukan penyalinan data ke direktori kerja di *matlab*. Setelah itu, dilakukan uji regresi *least-square*.

3. Hasil dan Pembahasan

1) Hasil Pengolahan dengan GAMIT

Pengolahan dengan GAMIT menghasilkan berbagai macam *file* baru. Salah satu *file* yang dipakai untuk mengamati rangkuman hasil pengolahan dengan GAMIT adalah *file sh_gamit.summary*. Proses pengamatan ini dilakukan dengan cara melihat nilai *nrms* (*normalized root mean square*) hasil pengolahan harian. Sesuai dengan pedoman manual pengolahan GPS menggunakan GAMIT, bahwa *nrms* solusi harian < 0.3 (Herring dkk, 2010a).

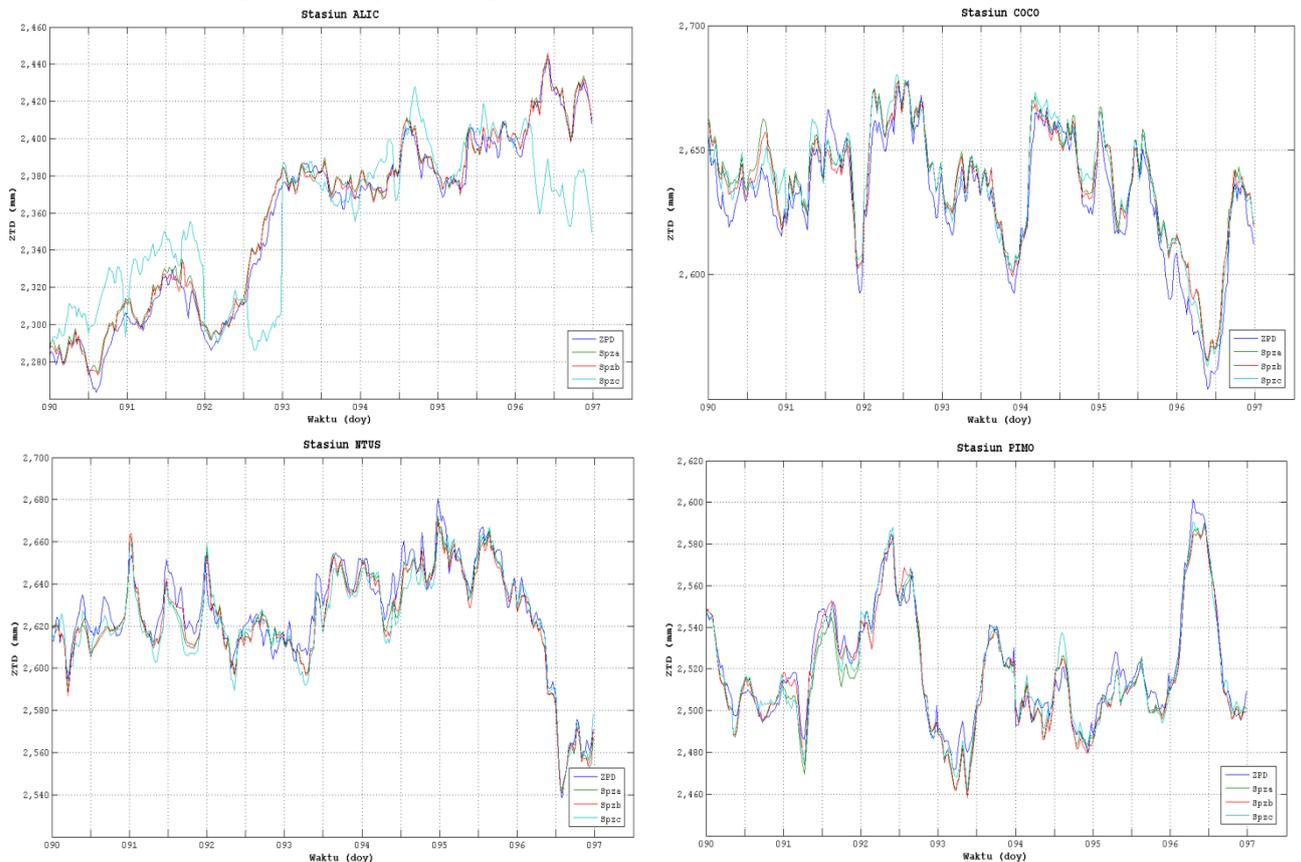
Tabel 1. Nilai *postfit nrms* berdasarkan *project* pengolahan

D O V	<i>Posfit nrms project spza</i>				<i>Posfit nrms project spzb</i>				<i>Posfit nrms project spzc</i>			
	<i>Constrained</i>		<i>Loose</i>		<i>Constrained</i>		<i>Loose</i>		<i>Constrained</i>		<i>Loose</i>	
	<i>Free</i>	<i>Fixed</i>	<i>Free</i>	<i>Fixed</i>	<i>Free</i>	<i>Fixed</i>	<i>Free</i>	<i>Fixed</i>	<i>Free</i>	<i>Fixed</i>	<i>Free</i>	<i>Fixed</i>
090	0.191	0.193	0.190	0.192	0.192	0.194	0.190	0.193	0.202	0.203	0.200	0.202
091	0.197	0.200	0.196	0.199	0.194	0.197	0.192	0.195	0.203	0.205	0.201	0.204
092	0.192	0.196	0.191	0.195	0.193	0.196	0.192	0.195	0.199	0.203	0.197	0.201
093	0.193	0.197	0.192	0.196	0.193	0.196	0.192	0.195	0.195	0.199	0.194	0.198
094	0.184	0.188	0.182	0.187	0.185	0.189	0.184	0.188	0.189	0.192	0.188	0.191
095	0.179	0.183	0.178	0.183	0.181	0.186	0.180	0.185	0.186	0.190	0.185	0.189
096	0.183	0.187	0.183	0.186	0.184	0.188	0.183	0.187	0.197	0.201	0.196	0.200

Dari **Tabel 1** dapat diamati nilai *postfit nrms* berdasarkan hasil pada setiap *project*, tidak ada yang melebihi 0.3 menunjukkan bahwa tidak ada kesalahan dalam pemodelan. Dalam hal ini metode pengolahan data yang digunakan sudah memberikan hasil yang sesuai dengan kriteria pengolahan data GPS menggunakan GAMIT.

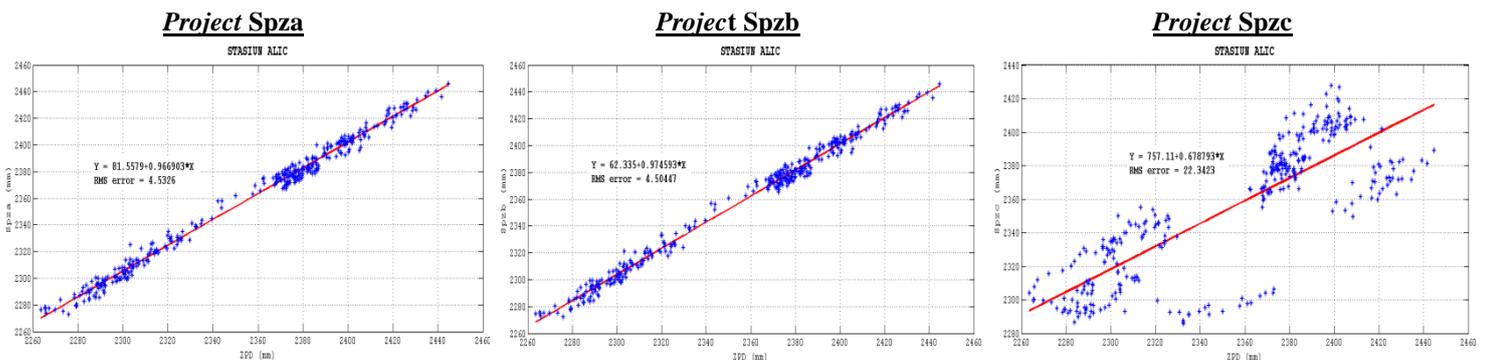
2) Validasi ZTD dari Hasil Pengolahan Data GPS

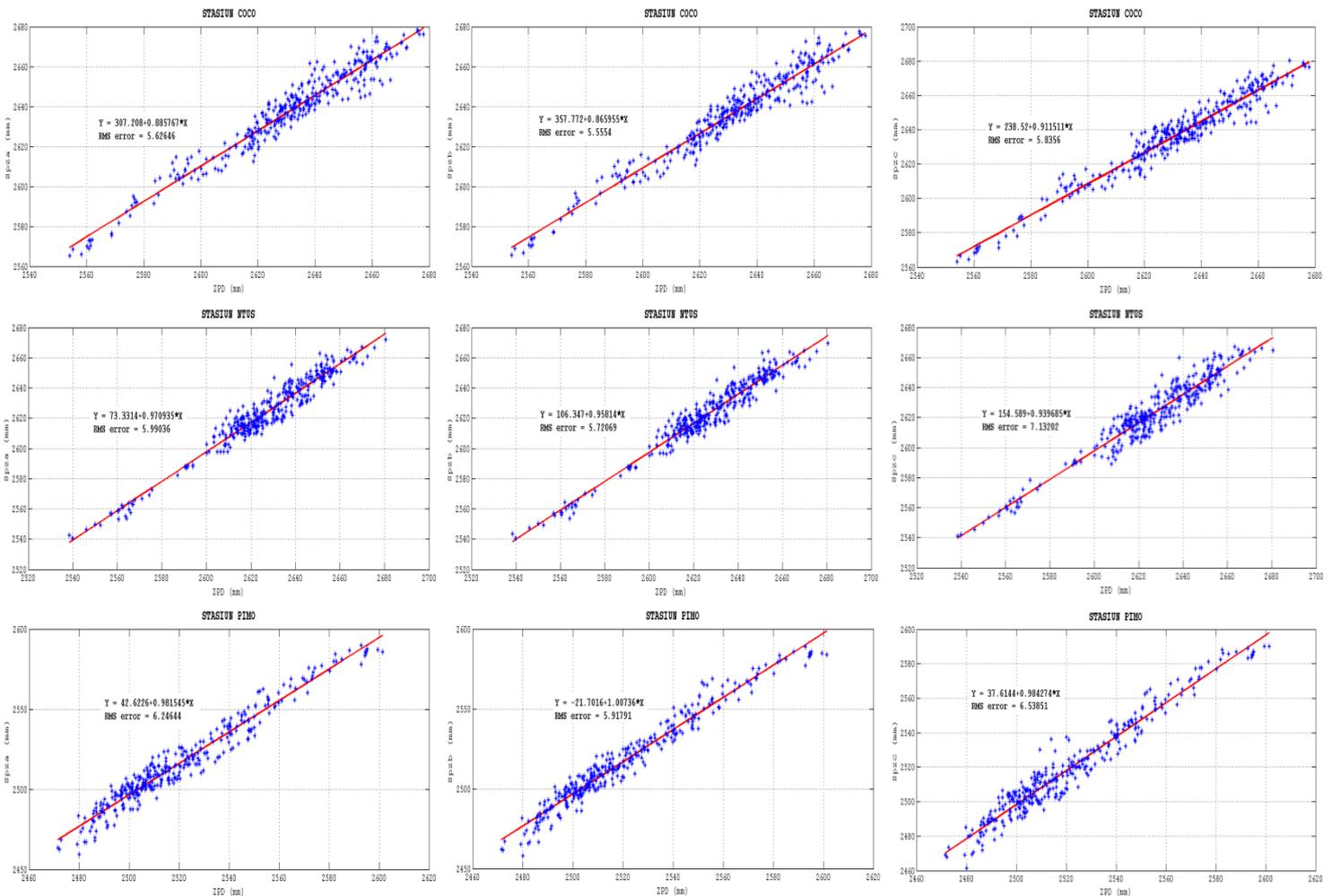
Validasi data hasil ZTD ini bertujuan untuk mengetahui keoptimalan nilai ZTD yang diperoleh dari hasil pengolahan data pengamatan GPS. Validasi ini dilakukan dengan membandingkan nilai ZTD dari hasil pengolahan terhadap nilai ZPD (nama lain dari ZTD versi IGS) yang disediakan oleh *Troposphere Working Group* dari IGS. Untuk grafiknya dapat dilihat pada **Gambar 3** dibawah ini.



Gambar 3. Grafik Perbandingan ZPD dan ZTD

Dan untuk melihat kemiripannya, maka digambarkan *scatter plot* yang merepresentasikan perhitungan menggunakan *least-square regression* seperti pada **Gambar 4** dibawah ini.





Gambar 4. Scatter Plot ZPD-ZTD Berdasarkan Project Pengolahan

Adapun nilai dari validasi di Stasiun IGS dapat dituliskan kembali pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Hasil Validasi ZPD dan ZTD

Stasiun	ZPD – Spza		ZPD - Spzb		ZPD – Spzc	
	RMSe (mm)	Corr	RMSe (mm)	Corr	RMSe (mm)	Corr
ALIC	4.5326	0.9952	4.50447	0.9953	22.3423	0.8226
COCO	5.62646	0.9696	5.5554	0.969	5.8356	0.9691
NTUS	5.99036	0.9706	5.72069	0.9724	7.13202	0.9565
PIMO	6.24644	0.9738	5.91791	0.9775	6.53851	0.9715
Rerata	5.59897	0.9773	5.424612	0.9786	10.46211	0.9299

Dari Tabel 2 diatas dapat dilihat bahwa nilai rerata dari rms-error hasil *least-square regression* pada *project* spza sebesar 5.59897 mm dengan rerata korelasi 0.9773, dan pada *project* spzb sebesar 5.424612 mm dengan korelasi 0.9786, serta pada *project* spzc sebesar 10.46211 mm dengan korelasi 0.9299. Dengan nilai-nilai tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa ZTD memiliki kesesuaian yang tinggi dengan nilai ZPD dari IGS. Selisih antara ZTD yang dihasilkan dari pengolahan data GPS dengan nilai ZPD dari IGS dimungkinkan terjadi karena adanya perbedaan dalam metode pengolahan data GPS (Karabatic, 2011; Susilo, 2012; Bamahry, 2013). Perbedaan metode tersebut antara lain:

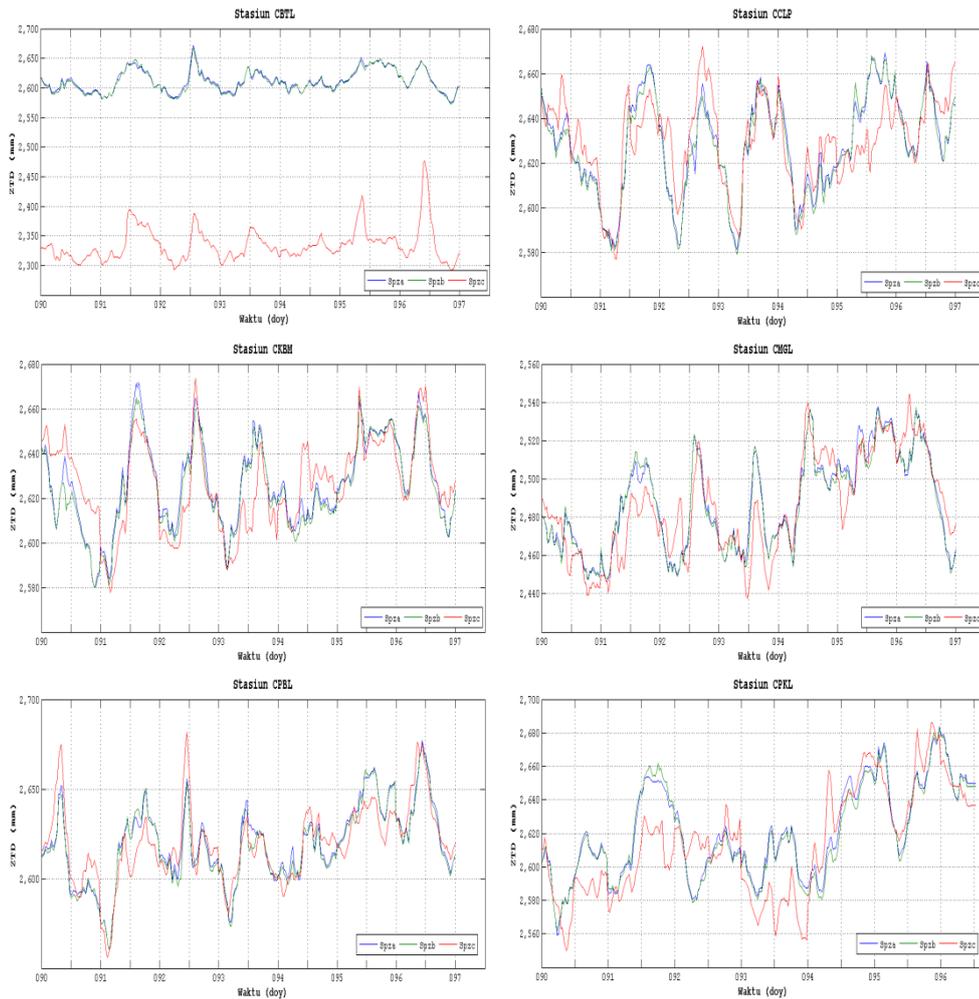
1. Perbedaan temporal estimasi nilai ZTD, estimasi nilai ZTD dalam penelitian ini diestimasi setiap 30 menit sedangkan nilai ZPD diestimasi setiap 5 menit.

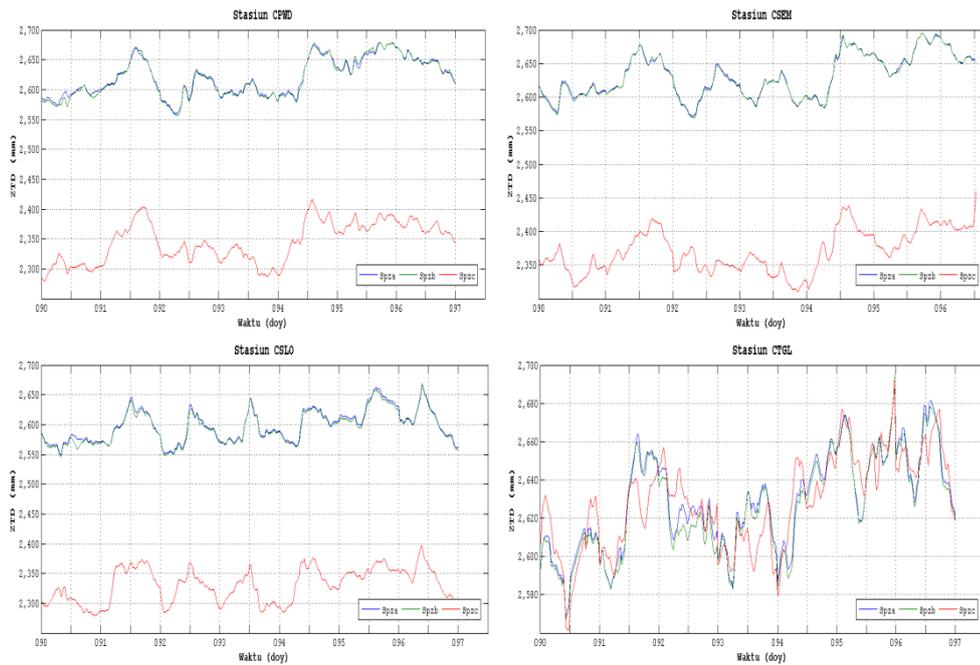
2. Parameter *software* pengolahan data GPS, untuk penelitian ini ZTD diestimasi menggunakan *software* GAMIT sedangkan ZPD diestimasi menggunakan *software* Bernese.
3. Parameter orbit dalam penelitian ini di-*fixed* sedangkan IGS ikut diestimasi.
4. Sudut elevasi pengamatan dalam penelitian ini 10° sedangkan data hasil IGS dengan sudut elevasi pengamatan 7° .

Berdasarkan hasil diatas maka dapat disimpulkan bahwa teknik/metode penentuan ZTD yang digunakan pada penelitian ini sudah optimal, namun pada *project* spzc diperkirakan adanya terjadi kesalahan pada tahap pengolahan.

3) Variasi Temporal ZTD dan Kandungan Uap Air

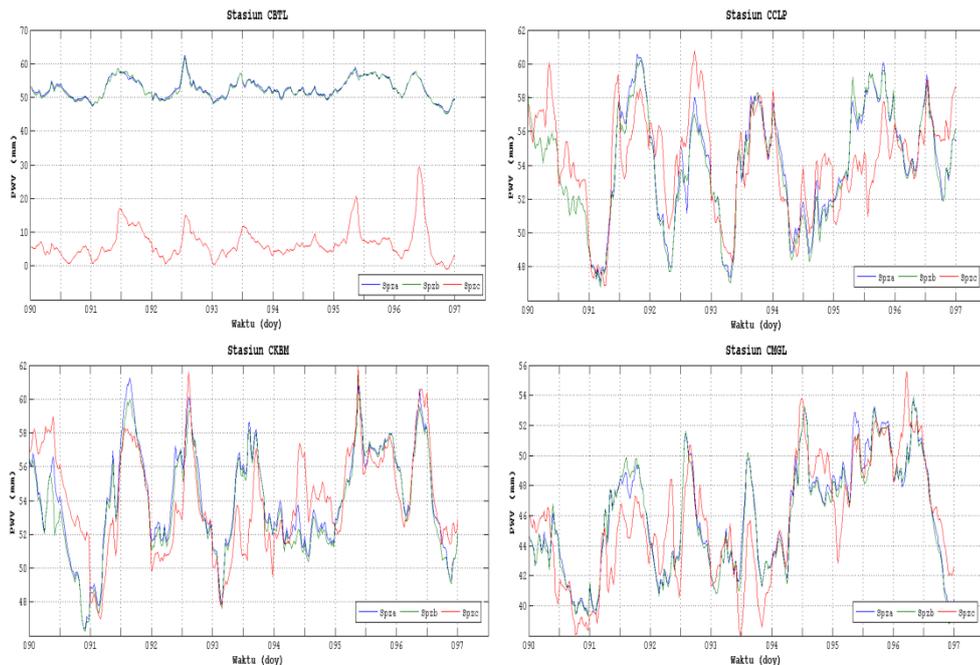
Variasi temporal ini dilakukan untuk mengetahui berapa nilai variasi ZTD maupun PWV pada titik pengamatan dalam kurun waktu tujuh hari. Pada penelitian ini analisis yang dilakukan difokuskan pada pengamatan nilai variasi temporal sehingga dapat disimpulkan kisaran dari nilai variasi temporal dalam kurun waktu doy 090 sampai 096 pada tahun 2014.

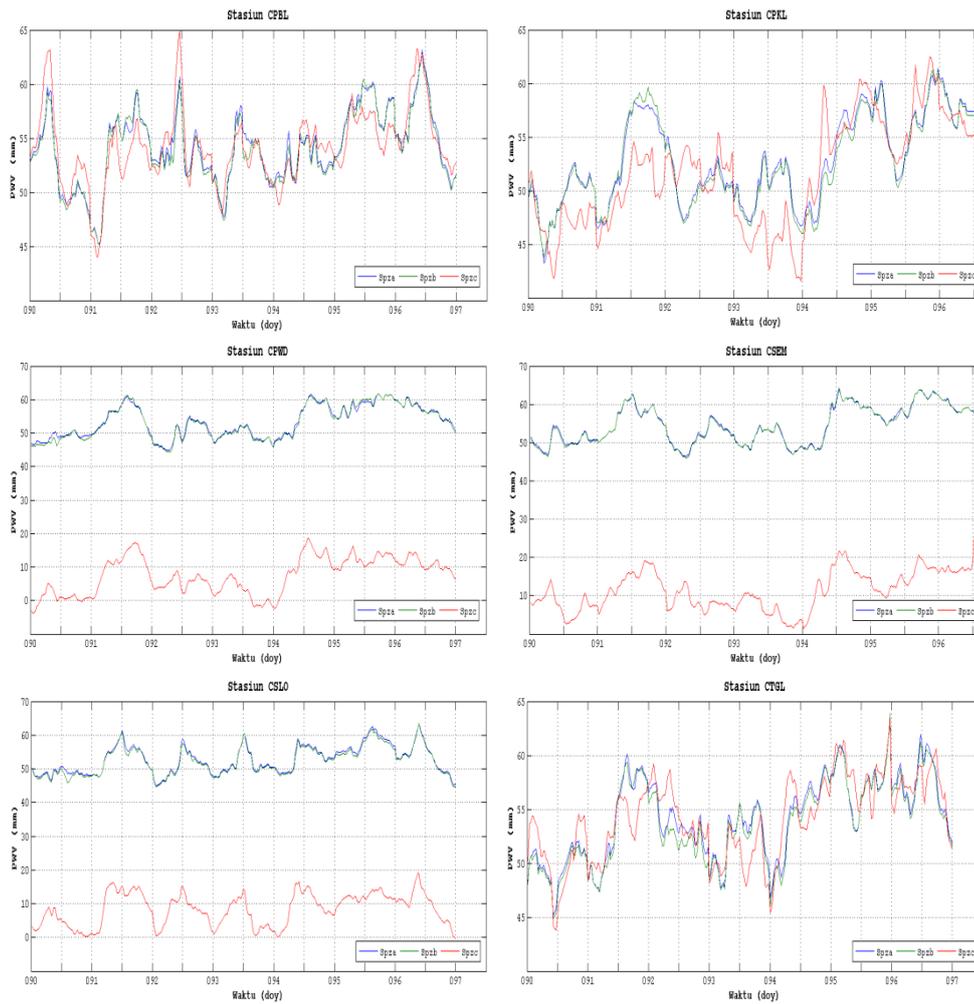




Gambar 5. Grafik Variasi ZTD di Titik Pengamatan

Gambar 5 merupakan hasil *plotting* data ZTD di titik pengamatan dimana dalam grafik di setiap stasiun dilakukan perbandingan berdasarkan hasil dari ketiga *project* pengolahan. Dimana nilai variasi temporal *zenith tropospheric delay* berdasarkan *project* spza dan spzb di titik pengamatan pada doy 090 sampai 096 berkisar antara $\pm 2446.2 - 2754.5$ mm.





Gambar 6. Grafik Variasi PWV di Titik Pengamatan

Dan untuk **Gambar 6** merupakan hasil *plotting* data PWV di titik pengamatan. Dimana nilai variasi temporal kandungan uap air (*precipitable water vapor*) berdasarkan *project spza* dan *spzb* di titik pengamatan pada *doy* 090 sampai 096 berkisar antara 38.81 – 64.46 mm.

Dari masing-masing penjelasan grafik tersebut, data yang merupakan hasil pengolahan

kemudian saling dibandingkan dengan metode perhitungan *least-square regression*. Hal ini dikarenakan tidak adanya data acuan yang dapat dijadikan rujukan sebagai pembanding seperti pada tahapan validasi ZPD dengan ZTD sebelumnya. Hasil perhitungan dengan *least-square regression* dapat dituliskan pada **Tabel 3** berikut ini:

Tabel 3. Hasil *least-square regression*

Stasiun	<i>Zenith Tropospheric Delay</i>			<i>Precipitable Water Vapor</i>		
	RMS error (mm)			RMS error (mm)		
	Spza-Spzb	Spza-Spzc	Spzb-Spzc	Spza-Spzb	Spza-Spzc	Spzb-Spzc
CBTL	1.85981	19.4306	19.2127	0.30752	3.352	3.30585
CCLP	2.309	11.8365	12.0269	0.372359	1.96751	1.97883
CKBM	2.49164	12.4329	12.5459	0.410694	2.01783	2.03951
CMGL	2.63399	13.0538	13.3499	0.434221	2.15215	2.19863
CPBL	2.55165	10.5741	10.9172	0.421254	1.769	1.82946
CPKL	3.0073	18.4646	19.4695	0.498202	3.06518	3.22703
CPWD	2.65955	16.2695	16.0082	0.43985	2.5703	2.55123

CSEM	1.28832	19.0861	18.9488	0.216398	3.09531	3.0746
CSLO	2.26155	16.237	16.2993	0.374674	2.537	2.55025
CTGL	2.51153	12.2459	12.5831	0.419155	2.06601	2.12505
Rerata	2.357434	14.9631	15.13615	0.389433	2.459229	2.488044

Dari **Tabel 3** diatas dapat dilihat untuk *zenith tropospheric delay* diperoleh nilai rerata dari rms-error hasil *least-square regression* antara *project* spza terhadap spzb sebesar 2.3574 mm, dan antara *project* spza terhadap spzc sebesar 14.963 mm, serta antara *project* spzb terhadap spzc sebesar 15.136 mm. Sedangkan untuk *precipitable water vapor* antara *project* spza terhadap spzc diperoleh hasil sebesar 0.389433 mm, dan antara *project* spza terhadap spzc diperoleh sebesar 2.459 mm, serta antara *project* spzb terhadap spzc diperoleh sebesar 2.488 mm.

Dengan nilai-nilai tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa hasil pengolahan pada *project* spza terhadap spzb memiliki kesesuaian yang tinggi dibandingkan ketika dilakukan terhadap spzc. Dan dapat menguatkan pernyataan sebelumnya bahwa pada *project* spzc diperkirakan adanya terjadi kesalahan pada tahap pengolahan.

4. Penutup

Berdasarkan hasil pengolahan data serta analisis pada penelitian ini, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Hasil validasi antara data ZPD di Stasiun IGS dengan ZTD hasil pengolahan diperoleh rerata dari rms-error hasil *least-square regression* pada *project* spza sebesar 5.59897 mm dengan rerata korelasi 97.73%, pada *project* spzb sebesar 5.4246 mm dengan korelasi 97.86% dan pada *project* spzc sebesar 10.46211 mm dengan korelasi 92.99%.
- 2) Nilai variasi temporal *zenith tropospheric delay* berdasarkan *project* spza dan spzb di Bantul, Cilacap, Kebumen, Magelang, Purbalingga, Pekalongan, Purwodadi, Semarang, Solo, dan Tegal pada doy 090 sampai 096 pada tahun 2014 berkisar antara 2446.2 – 2754.5 mm.
- 3) Nilai variasi temporal kandungan uap air (*precipitable water vapor*) berdasarkan *project* spza dan spzb di Bantul, Cilacap, Kebumen, Magelang, Purbalingga, Pekalongan, Purwodadi, Semarang, Solo, dan Tegal pada doy 090 sampai 096 pada tahun 2014 berkisar antara 38.81 – 64.46 mm.

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil pengolahan data serta analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Perlu adanya kajian kembali terhadap pengaruh penggunaan fungsi pemetaan terkait dengan

- perolehan model pengamatan RNX UFL GPT 50.
- 2) Diperlukan penelitian lanjutan untuk menentukan nilai ZTD maupun PWV dalam periode satu tahun pengamatan, sehingga dapat diketahui pemodelan ZTD maupun pola variasi temporal serta spasial distribusi kandungan uap airnya.
- 3) Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan perbandingan nilai PWV hasil pengolahan terhadap PWV dari *Radiosonde*. Serta perlu dilakukan perbandingan dengan data *atmospheric conditions* yang dihasilkan *Trimble Pivot*.
- 4) Penelitian selanjutnya dapat mengkaji lebih lanjut terhadap orbit satelit yang *real time* dari GPS, agar penelitian ini dapat dilakukan secara *real time*.
- 5) Dan perlu adanya kajian berdasarkan ilmu meteorologi terkait hasil penelitian ini.

Daftar Pustaka

Bamahry, F. 2013. *Studi Pemantauan Kandungan Uap Air Menggunakan Metode Inversi GPS*. Skripsi. Program Studi Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Herring, T.A., King, R.W., McClusky, S.C. 2010a. *GAMIT Reference Manual, Release 10.4*, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.

Karabatic, A. 2011. *Precise Point Positioning (PPP) – an Alternative technique for ground based GNSS troposphere monitoring*. Dissertation, Vienna University of Technology, Faculty of Mathematics and Geoinformation, Vienna Februari.

Susilo. 2012. *Pemantauan Precipitable Water Vapor (PWV) di Wilayah Jawa Barat Menggunakan GPS Kontinu*. Thesis. Institut Teknologi Bandung.