

Penentuan *Zenith Tropospheric Delay* Menggunakan Data CORS GNSS

Een Lujainatul Isnaini^{1*}, Redho Surya Perdana²

^{1,2} Program Studi Teknik Geomatika, Jurusan Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365

* Corresponding email: een.isnaini@gt.itera.ac.id

Riwayat Artikel

Diterima
18/07/2021
Disetujui
17/10/2021
Diterbitkan
31/10/2021

Abstrak

Perambatan sinyal dari satelit GNSS berupa gelombang elektromagnetik ke *receiver* melalui medium atmosfer menyebabkan adanya bias atmosfer, baik bias ionosfer dan troposfer yang disebabkan karena perubahan medium pada lapisan atmosfer tersebut, dan terjadinya perlambatan (*delay*) sinyal. Perlambatan sinyal pada lapisan troposfer disebut dengan *Zenith Tropospheric Delay* (ZTD). Bias atau gangguan tersebut harus dieliminasi agar diperoleh posisi yang akurat. Akan tetapi, informasi tersebut justru bermanfaat dalam studi meteorologi untuk memberikan gambaran kondisi atmosfer. Pada penelitian ini menentukan estimasi nilai ZTD dari data pengamatan stasiun CORS GNSS. Pengolahan data dilakukan dengan metode PPP melalui *platform online*. Hasil pengolahan tersebut, selain diperoleh posisi stasiun CORS juga nilai ZTD beserta simpangan bakunya. Estimasi nilai ZTD setiap stasiun CORS berbeda-beda dikarenakan kondisi atmosfer (cuaca) di wilayah setiap stasiun berbeda. Estimasi nilai ZTD tertinggi terdapat pada stasiun CTBN, berturut-turut pada *doy* 213.15 sebesar 2,522 m, *doy* 335.15 sebesar 2,621 m, dan *doy* 91.16 sebesar 2,696 m.

Kata Kunci: ZTD, GNSS, variasi, atmosfer

Abstract

Signal propagation from the GNSS satellite in the form of electromagnetic waves to the receiver through the atmospheric medium causes atmospheric bias, both ionospheric and tropospheric bias caused by changes in the medium in the atmospheric layer, and signal delays. The slowing down of the signal in the troposphere was known as the Zenith Tropospheric Delay (ZTD). The bias or interference must be eliminated to obtain an accurate position. However, this information is useful in meteorological studies to provide an overview of atmospheric conditions. This study determines the estimated value of the ZTD from the observation data of the CORS GNSS station. Data processing was carried out using the PPP method through an online platform. The results of this processing, besides obtaining the CORS station position, the ZTD value and its standard deviation are also obtained. The estimated ZTD value for each CORS station was different due to the different atmospheric conditions (weather) in each station's area. The highest estimated ZTD value was found at the CTBN station, respectively at *doy* 213.15 of 2,522 m, *doy* 335.15 of 2,621 m, dan *doy* 91.16 of 2,696 m.

Keywords: ZTD, GNSS, variation, atmosphere

1. Pendahuluan

Penggunaan Data pengamatan *Global Navigation Satellite System* (GNSS) tidak hanya untuk penentuan posisi, tapi juga dimanfaatkan untuk studi lainnya. Salah satu studi pemanfaatan data GNSS diluar penentuan posisi adalah untuk studi terkait meteorologi [1]. Satelit GNSS dalam pengamatannya memancarkan sinyal dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang melewati medium atmosfer hingga ke stasiun pengamat (*receiver*) di

permukaan bumi [2]. Sinyal tersebut akan mengalami hambatan terbesar di lapisan ionosfer dan troposfer [3].

Salah satu variabel di atmosfer yang sangat mengganggu perambatan sinyal GNSS adalah kandungan uap air di atmosfer [1]. Adanya uap air yang terkandung pada atmosfer mengakibatkan perbedaan medium yang dilewati oleh sinyal satelit. Saat melalui medium atmosfer, sinyal akan

mengalami refraksi dan sintilasi (*scintillation*), serta mengalami pelemahan (*atmospheric attenuation*) dalam lapisan troposfer [2]. Efek pembiasan sinyal yang terjadi akan mempengaruhi kecepatan penjalaran sinyal dari satelit ke *receiver*, dapat menyebabkan terjadinya *delay* pada medium tersebut, yang mengakibatkan penurunan kualitas data pengukuran [1] atau dengan kata lain hasil ukuran jarak [2].

Dalam penentuan posisi menggunakan GNSS, efek uap air harus dieliminasi secara maksimal karena dianggap sebagai gangguan (*noise*), bias dan kesalahan, agar diperoleh posisi yang akurat [1], [2], [4]. Pemrosesan GPS untuk menentukan koordinat posisi teliti dari stasiun pengamat saling terkait dengan pengolahan GPS atmosfer untuk mendapatkan parameter atmosfer yang teliti dari stasiun tersebut [5]. Akan tetapi, dalam studi meteorologi justru dianggap sebagai informasi (*signal*) yang dapat memberikan gambaran terkait proses-proses fisis yang terjadi di atmosfer [1]. Untuk itu, pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui salah satu parameter kesalahan yang terjadi saat perambatan sinyal melalui lapisan troposfer, yang dikenal dengan istilah efek *tropospheric delay*.

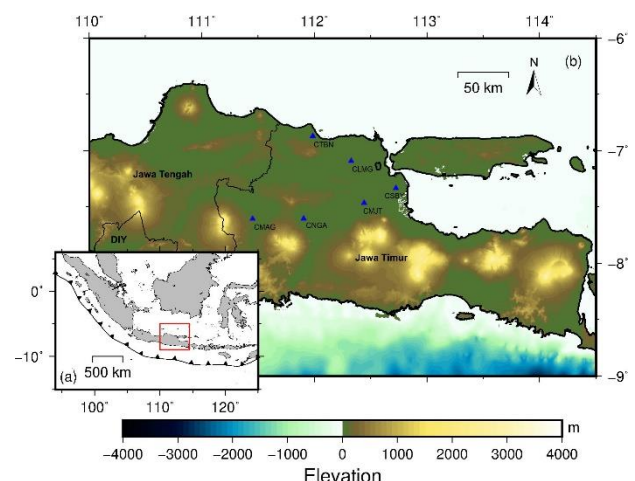
Efek penyimpangan jarak akibat perlambatan waktu sinyal GNSS ke *receiver* disebut *Slant Tropospheric Delay* (STD), yang selanjutnya dapat diubah menggunakan fungsi pemetaan menjadi *Zenith Tropospheric Delay* (ZTD) [6], dan menjadi parameter umum dalam penggambaran pengaruh troposfer pada penjalaran sinyal [7]. *Zenith Tropospheric Delay* (ZTD) merupakan besarnya penyimpangan jarak yang disebabkan oleh perlambatan waktu tempuh sinyal GPS saat melewati lapisan troposfer [3]. ZTD terdiri atas dua komponen, yaitu *Zenith Wet Delay* (ZWD) yang diakibatkan oleh komponen basah, dan *Zenith Hydrostatic Delay* (ZHD) yang diakibatkan oleh komponen kering [6], yang ditunjukkan pada persamaan 1. Masing-masing komponen tersebut bisa diestimasi untuk mendapatkan informasi yang lebih detail. Magnitude dari komponen basah (ZWD), yang utama bergantung pada kandungan uap air sepanjang lintasan sinyal, dan biasanya lebih sulit untuk diestimasi secara teliti dari data pengamatan meteorologi di permukaan bumi, namun dapat dilakukan dengan menggunakan *Water Vapour Radiometer* (WVR) dengan harga yang mahal [2]. Sementara untuk komponen ZHD dapat diestimasi sampai ketelitian sekitar 1% dengan menggunakan model troposfer (seperti Hopfield, Saastamoinen, Marini dan lain-lain) serta data ukuran meteorologi (temperatur, tekanan, dan kelembaban) di permukaan bumi [2].

$$ZTD = ZWD + ZHD \quad (1)$$

ZTD mengandung informasi penting terkait kandungan uap air di udara (*Precipitable Water Vapour - PWV*) yang bisa dimanfaatkan untuk prakiraan cuaca. Akan tetapi pada penelitian dibatasi hanya membahas terkait nilai estimasi ZTD dari data pengamatan *Continuously Operating Reference Station* (CORS) GNSS saja. Penggunaan data pengamatan stasiun CORS agar diperoleh *time series* harian dari estimasi nilai ZTD. Penggunaan data pengamatan stasiun CORS dikarenakan untuk memperoleh data GNSS yang kontinu. Hal ini mengingat bahwa stasiun CORS merupakan suatu teknologi berbasis GNSS yang berwujud sebagai suatu jaring kerangka geodetik yang dilengkapi dengan *receiver* pada setiap stasiunnya yang mampu menangkap sinyal dari satelit-satelit GNSS yang beroperasi secara penuh dan kontinu selama 24 jam [8]. Selain itu, penggunaan data GNSS dalam penelitian ZTD memberikan keuntungan lain yaitu dapat memberikan resolusi temporal yang tinggi, dan biaya yang lebih murah dibandingkan teknologi konvensional lainnya [9], serta tidak bergantung cuaca [10]. Data pengamatan dari CORS GNSS juga memberikan peluang yang baik untuk membangun model ZTD regional dengan akurasi tinggi [11].

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi nilai ZTD dari stasiun CORS, menganalisis perubahan nilai ZTD setiap *epoch* pengamatan selama sehari penuh melalui *time series* harian. Penelitian ini menggunakan tiga *date of year* (*day*) dari setiap stasiun CORS. Pemilihan rentang waktu antar *day* adalah setiap empat bulan sekali, dengan tujuan dapat membandingkan perbedaan kondisi cuaca dari ketiganya.

2. Metode



Gambar 1. Persebaran Ina-CORS yang digunakan pada penelitian.

Penelitian ini menggunakan data pengamatan berupa data CORS GNSS yang diperoleh dari

Badan Informasi Geospasial (BIG) atau biasa disebut Ina-CORS. Penelitian ini menggunakan enam stasiun yaitu CTBN (Tuban), CLMG (Lamongan), CSBY (Surabaya), CMJT (Mojokerto), CNGA (Nganjuk), dan CMAG (Magetan), yang terletak pada provinsi Jawa Timur bagian Utara dengan persebaran stasiunnya dapat dilihat pada Gambar 1. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah pada *doy* 213 (1 Agustus), *doy* 335 (1 Desember) tahun 2015, dan *doy* 091 (31 Maret) tahun 2016.

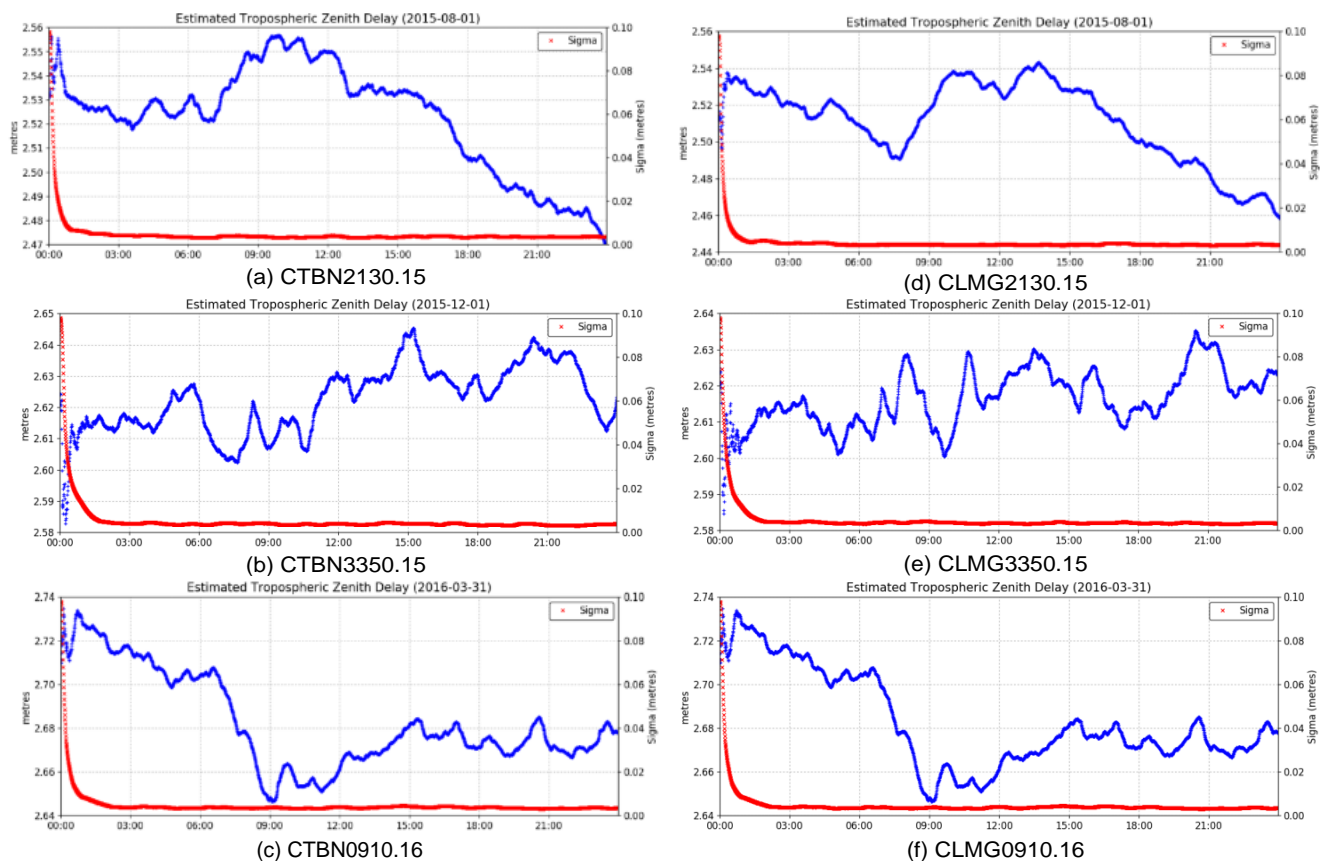
Pengolahan data CORS GNSS dilakukan menggunakan konsep metode *Precise Point Positioning* (PPP) melalui *platform web online* dari *Natural Resources Canada* (NRC) berupa *The Canadian Spatial Reference System - Precise Point Positioning* (CSRS - PPP) yang dapat diakses melalui *link* <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/>. Pada pemrosesan data juga menambahkan *file Ocean Tide Loading* (OTL) untuk setiap stasiun pengamat yang diperoleh dari *web online* secara gratis diakses pada *link* <http://holt.oso.chalmers.se/loading/>. Pengolahan data CORS GNSS pada penelitian ini direferensikan pada *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF) yang sesuai dengan tahun

pengamatan yaitu ITRF 2008 (ITRF08). Dengan menggunakan metode PPP, proses perhitungan dilakukan secara terpisah setiap stasiun (bersifat absolut), dan tidak ada pengaruh antar stasiun lainnya [12]. Hal ini memberikan keuntungan dibandingkan dengan metode diferensial (relatif), dengan tidak adanya pengaruh kesalahan dari suatu stasiun terhadap stasiun lainnya [13].

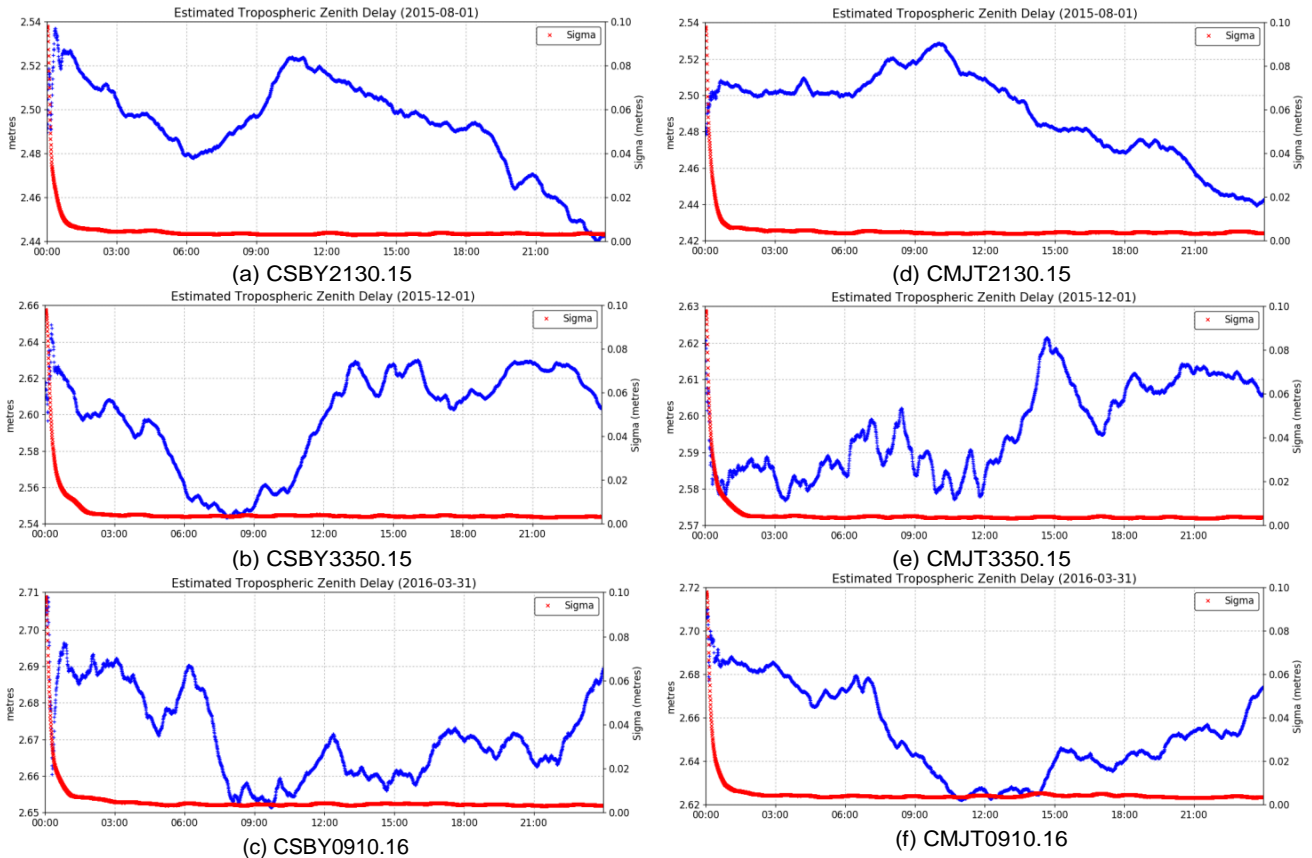
3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Estimasi nilai ZTD stasiun CORS pada *doy* 213 dan 335 tahun 2015, dan *doy* 91 tahun 2016.

Nama Stasiun	ZTD(m)/doy			SDZTD(m)/doy		
	213.15	335.15	91.16	213.15	335.15	91.16
CTBN	2,522	2,621	2,696	0,005	0,005	0,005
CLMG	2,510	2,616	2,682	0,004	0,005	0,005
CSBY	2,492	2,598	2,670	0,005	0,005	0,005
CMJT	2,489	2,595	2,652	0,005	0,005	0,005
CNGA	2,451	2,607	2,663	0,004	0,005	0,005
CMAG	2,451	2,595	2,647	0,004	0,004	0,004



Gambar 2. Estimasi nilai *Tropospheric Zenith Delay* setiap *doy* pada stasiun CTBN (a, b, dan c) dan stasiun CLMG (d, e, dan f) (Tanda positif berwarna biru menunjukkan nilai ZTD setiap *epoch*, dan tanda silang (x) berwarna merah menunjukkan nilai simpangan baku ZTD setiap *epoch*).



Gambar 3. Estimasi nilai *Tropospheric Zenith Delay* setiap *doy* pada stasiun CSBY (a, b, dan c) dan stasiun CMJT (d, e, dan f) (Tanda positif berwarna biru menunjukkan nilai ZTD setiap *epoch*, dan tanda silang (x) berwarna merah menunjukkan nilai simpangan baku ZTD setiap *epoch*).

Hasil dari pengolahan *post-processing* menggunakan *platform online* CSRS-PPP selain menghasilkan nilai koordinat posisi stasiun CORS, juga menghasilkan estimasi nilai ZTD. Pada penelitian ini hanya akan membahas terkait estimasi nilai ZTD yang diperoleh dari hasil pengolahan data. Estimasi nilai ZTD beserta nilai simpangan baku/nilai ketidakpastian pada sigma 95% (SDZTD) diperoleh untuk setiap *epoch* pengamatan yaitu setiap satu detik. Nilai ZTD dan SDZTD setiap *epoch* kemudian dirata-rata perhari (setiap *doy*) yang dipilih dari setiap stasiun yang ditampilkan pada Tabel 1. Variasi temporal (*time series*) harian dari nilai ZTD setiap stasiun CORS diilustrasikan pada Gambar 2 (untuk stasiun CTBN dan CLMG), Gambar 3 (untuk stasiun CSBY dan CMJT), dan Gambar 4 (untuk stasiun CNGA dan CMAG).

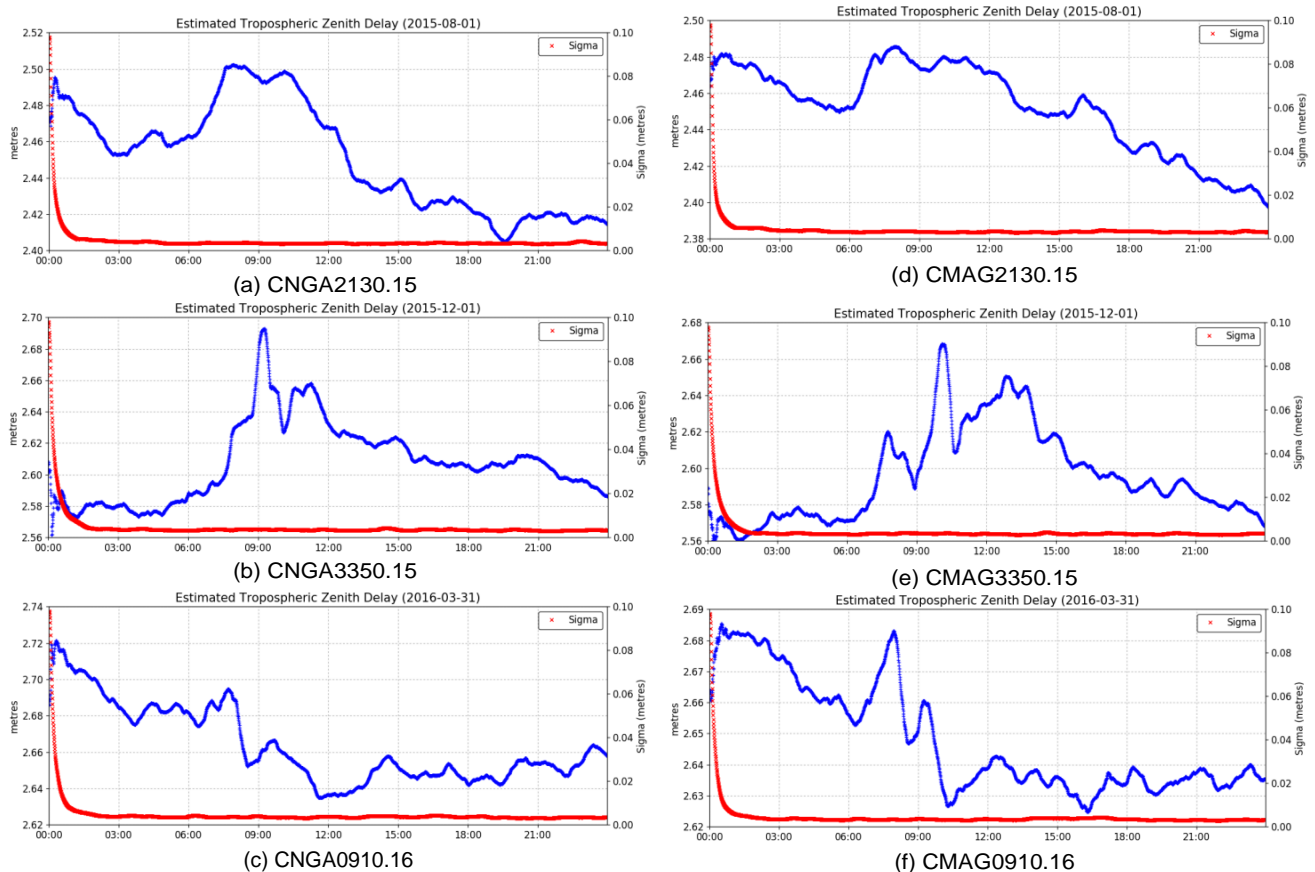
Rata-rata nilai ZTD yang ditampilkan pada Tabel 1, terlihat bahwa setiap *doy* pada stasiun CORS memiliki nilai yang berbeda-beda dan terus mengalami kenaikan. Nilai ZTD tertinggi terdapat pada stasiun CTBN, berturut-turut pada *doy* 213.15 sebesar 2,522 m, *doy* 335.15 sebesar 2,621 m, dan *doy* 91.16 sebesar 2,696 m. Nilai ZTD terendah terdapat pada stasiun CMAG, berturut-turut pada *doy* 213.15 sebesar 2,451 m, *doy* 335.15 sebesar 2,595 m, dan *doy* 91.16 sebesar 2,647 m. Nilai

simpangan baku rata-rata ZTD dengan kepercayaan 95% pada secara keseluruhan berada pada rentang 4 s.d 5 mm. Perbedaan nilai ZTD setiap *doy* menunjukkan perbedaan kondisi atmosfer di sekitar lokasi stasiun CORS.

Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 menunjukkan variasi temporal (*time series*) harian dari nilai ZTD setiap stasiun CORS. Pada Gambar 2, 3, dan 4 tersebut terlihat estimasi nilai ZTD setiap stasiun CORS dalam sehari mengalami perubahan yang bervariasi naik dan turun. Variasi nilai ZTD setiap harinya juga berbeda-beda, seperti yang ditunjukkan pada *doy* 213.15, 335.15 dan 91.16. Ketiga *doy* tersebut menampilkan *time series* yang bervariasi sesuai dengan kondisi pada saat perambatan sinyal satelit ke *receiver*, dalam hal ini adalah stasiun CORS. Variasi *time series* nilai ZTD yang diturunkan dari data GNSS menunjukkan posisi tertinggi/puncak dan terendah yang sesuai dengan perubahan uap air atmosfer di lokasi stasiun CORS [14]. Hal ini dikarenakan kondisi atmosfer yang bersifat dinamis yang mengalami perubahan dalam waktu yang singkat (dalam jam atau hari) atau biasa disebut dengan cuaca [15], seperti suhu, kelembaban udara, intensitas cahaya matahari yang melalui lapisan atmosfer, hingga kecepatan dan arah angin [16].

Secara umum dari keseluruhan stasiun CORS pada *doy* 213 yang digunakan memiliki pola variasi nilai ZTD yang serupa, meskipun tidak sama persis. Hal ini menunjukkan bahwa pada *doy* tersebut yaitu tanggal 1 Agustus 2015, kondisi cuaca di wilayah keenam stasiun CORS adalah serupa/hampir sama. Berbeda dengan *doy* 213, pada *doy* 335 (1 Desember 2015), hanya terdapat beberapa stasiun dengan pola *time series* yang serupa yaitu stasiun CNGA dan CMAG (Gambar 4). Hal ini terjadi

diasumsikan karena lokasi kedua stasiun tersebut berdekatan, sehingga kondisi atmosfer di kedua wilayah stasiun hampir sama. Sama halnya pada *doy* 213, pada *doy* 91 (t31 Maret 2016) secara umum juga memiliki pola yang serupa pada setiap stasiun CORS. Akan tetapi pada stasiun CTBN dan CLMG (Gambar 2) memiliki pola *time series* yang hampir sama, dikarenakan lokasi kedua stasiun yang lebih berdekatan dibandingkan dengan stasiun CORS lainnya.



Gambar 4. Estimasi nilai *Tropospheric Zenith Delay* setiap *doy* pada stasiun CNGA (a, b, dan c) dan stasiun CMAG (d, e, dan f) (Tanda positif berwarna biru menunjukkan nilai ZTD setiap *epoch*, dan tanda silang (x) berwarna merah menunjukkan nilai simpangan baku ZTD setiap *epoch*).

Untuk mendapatkan variasi temporal dari nilai ZTD dalam kurun waktu satu tahun, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan data pengamatan satu tahun penuh (365/366 hari), yang kemudian dapat diperkirakan kondisi cuaca dalam kurun waktu satu tahun tersebut. Selain itu, untuk memastikan hasil estimasi nilai ZTD, perlu dilakukan perbandingan atau validasi terhadap data pengukuran stasiun meteorologi.

4. Kesimpulan

Nilai *Zenith Tropospheric Delay* (ZTD) dapat diestimasi menggunakan data pengamatan GNSS. Nilai ZTD dalam waktu satu hari memiliki pola *time series* yang bervariasi pada setiap *epoch*-nya. Hal

ini dikarenakan perubahan kondisi atmosfer (cuaca) yang dinamis dalam waktu satu hari. Nilai ZTD setiap stasiun juga berbeda-beda dikarenakan perbedaan kondisi atmosfer pada setiap lokasi stasiun. Nilai ZTD tertinggi terdapat pada stasiun CTBN, berturut-turut pada *doy* 213.15 sebesar 2,522 m, *doy* 335.15 sebesar 2,621 m, dan *doy* 91.16 sebesar 2,696 m.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) selaku penyedia data pengamatan CORS GNSS, serta kepada seluruh pihak yang membantu dalam proses penulisan jurnal penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] D. D. Wijaya, *GNSS Meteorologi*, 1 ed. Bandung: ITB Press, 2019.
- [2] H. Z. Abidin, *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*, Cetakan 2. Jakarta: Pradnya Paramita, 2000.
- [3] H. Gusfarienza, B. D. Yuwono, M. Awaluddin, dan Susilo, "Penentuan Zenith Tropospheric Delay Dan Precipitable Water Vapor Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT," *J. Geod. Undip*, vol. 4, no. 1, hal. 42, 2015.
- [4] A. Leick, *GPS satellite surveying*, Third. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 1990.
- [5] P. J. Benevides, J. Catalão, P. M. Miranda, dan M. J. Chinita, "Analysis of the relation between GPS tropospheric delay and intense precipitation," in *SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2013, vol. 8890, no. October, hal. 88900Y.
- [6] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, dan E. Wasle, *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Austria: Springer Wien New York, 2008.
- [7] F. Yang, J. Guo, C. Zhang, Y. Li, dan J. Li, "A Regional Zenith Tropospheric Delay (ZTD) Model Based on GPT3 and ANN," *Remote Sens*, vol. 13, no. 5, hal. 838, 2021.
- [8] R. Saputra, M. Awaluddin, dan F. J. Amarrohman, "Perhitungan Velocity Rate CORS GNSS di Wilayah Pantai Utara Jawa Tengah," *J. Geod. Undip*, vol. 4, no. 4, hal. 231–239, 2015.
- [9] R. H. Bevis, Michael; Businger, Steven; Chiswell, Steven; Herring, Thomas A.; Anthes, Richard A.; Rocken, Christian; Ware, "GPS Meteorology: Mapping Zenith Wet Delays onto Precipitable Water.," *J. Appl. Meteorol.*, vol. 33, no. 3, hal. 379–386, 1994.
- [10] Z. Bai, "Near-Real-Time GPS Sensing of Atmospheric Water Vapour," Queensland University of Technology, 2004.
- [11] R. Umberto, T. Umberto, dan C. Paolo, "Evaluation of the atmospheric precipitable water at local scale during extreme weather using ground-based CGPS measurements," in *2013 IEEE Workshop on Environmental Energy and Structural Monitoring Systems*, 2013, hal. 38–41.
- [12] N. A. C. Mannani dan E. Y. Handoko, "Analisis Variasi Temporal-Spasial Nilai Zenith Tropospheric Delay Menggunakan Data CORS di Provinsi Jawa Timur," *Geoid*, vol. 16, no. 2, hal. 215–230, 2021.
- [13] A. S. Khaniani dan M. Ghahremani, "Estimation Of GPS Tropospheric Delays Using Different Data Processing Strategies In Iran," *Ann. Geophys.*, vol. 61, no. 6, hal. 1–13, 2018.
- [14] A. Akilan, K. K. A. Azeez, S. Balaji, H. Schuh, dan Y. Srinivas, "GPS derived Zenith Total Delay (ZTD) observed at tropical locations in South India during atmospheric storms and depressions," *J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys.*, vol. 125–126, hal. 1–7, 2015.
- [15] B. Lakitan, *Dasar-dasar klimatologi*. Jakarta: Raja Grafindo Persada, 2002.
- [16] Miftahuddin, "Analisis Unsur-unsur Cuaca dan Iklim Melalui Uji Mann-Kendall Multivariat," *J. Mat. Stat. dan Komputasi*, vol. 13, no. 1, hal. 26–38, 2016.