

# ANALISIS NILAI ZENITH TROPOSPHERIC DELAY (ZTD) CORS ULPC UNILA DENGAN METODE PRECISE POINT POSITIONING (PPP)

Atika Sari<sup>1)</sup>, Fajriyanto<sup>2)</sup>, Eko Rahmadi<sup>3)</sup>, Romi Fadly<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Survei dan Pemetaan, Universitas Lampung

<sup>2), 3), 4)</sup> Program Studi Teknik Geodesi, Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Bandar Lampung, Lampung

Email : [atika.sari@eng.unila.ac.id](mailto:atika.sari@eng.unila.ac.id)<sup>1)</sup>, [fajriyanto@eng.unila.ac.id](mailto:fajriyanto@eng.unila.ac.id)<sup>2)</sup>, [eko.rahmadi@eng.unila.ac.id](mailto:eko.rahmadi@eng.unila.ac.id)<sup>3)</sup>

[romi.fadly@eng.unila.ac.id](mailto:romi.fadly@eng.unila.ac.id)<sup>4)</sup>

## ABSTRACT

The propagation of GNSS signals from satellites orbiting at an altitude of approximately 22,000 km above the Earth's surface to the receiver must pass through the Earth's atmosphere. Within the atmospheric layers, the signals encounter numerous interferences, which are a significant source of errors in position determination using GNSS. Zenith Tropospheric Delay (ZTD) is one of these sources of signal delay errors, which can be determined using the Precise Point Positioning (PPP) method. This study utilizes GNSS data from the CORS ULPC station at the University of Lampung, as well as temperature and humidity data obtained from the Maritime Meteorological Station in Panjang. The GNSS data format used is RINEX. This research uses RINEX data from CORS ULPC for the year 2022, consisting of 20 RINEX doy (date of year) data, and for the year 2023, consisting of 19 RINEX doy data. The processing to produce ZTD values using the PPP method was carried out using an online platform, which requires additional data such as ocean tide loading data. From the processing of GNSS data, the highest ZTD value in 2022 was 2644.12204, and the highest ZTD value in 2023 was 2611.6535. For ZWD (Zenith Wet Delay), the highest value in 2022 was 377.4454, and in 2023 it was 340.9047. The correlation between ZWD values from CORS ULPC and BMKG data showed a correlation coefficient of 0.55 for 2022 and 0.58 for 2023.

**Keywords :** ZTD, ZWD, CORS ULPC, PPP

## ABSTRAK

Perambatan sinyal GNSS dari satelit yang mengorbit pada ketinggian sekitar 22.000 km di atas permukaan bumi ke receiver harus melalui lapisan atmosfer bumi, pada lapisan atmosfer bumi sinyal akan melalui banyak gangguan yang menyebabkan salah satu sumber kesalahan dalam penentuan posisi menggunakan GNSS. Zenith Tropospheric Delay (ZTD) merupakan salah satu dari sumber kesalahan dari perlambatan sinyal yang dapat ditentukan dengan menggunakan metode Precise Point Positioning (PPP). Penelitian ini menggunakan data GNSS dari stasiun CORS ULPC Universitas Lampung dan data temperature serta kelembapan yang diperoleh dari stasiun Meteorologi Maritim Panjang. Format data GNSS yang digunakan adalah RINEX, pada penelitian ini menggunakan data RINEX CORS ULPC Tahun 2022 dengan 20 data RINEX doy (date of year) dan data 2023 dengan jumlah 19 data RINEX doy. Pengolahan yang dilakukan dalam menghasilkan nilai ZTD dengan menggunakan metode PPP adalah menggunakan platform online dengan membutuhkan data tambahan berupa data ocean tide loading. Dari hasil pengolahan menggunakan data GNSS nilai ZTD tertinggi pada tahun 2022 adalah 2644, 12204 mm dan nilai ZTD tertinggi pada tahun 2023 adalah 2611,6535 mm. Pada nilai ZWD didapatkan nilai tertinggi pada tahun 2022 adalah 377,4454 mm dan pada tahun 2023 adalah sebesar 340,9047 mm. Hasil korelasi hubungan antara ZWD dari data CORS ULPC dan BMKG didapatkan koefisien korelasi tahun 2022 sebesar 0,55 Dan pada tahun 2023 didapatkan koefisien korelasi sebesar 0,58.

**Kata Kunci :** ZTD, ZWD, CORS ULPC, PPP

1. Pendahuluan

Global Navigation Satellite System (GNSS) dapat menghasilkan data koordinat penentuan posisi yang presisi serta akurasi apabila transmisi sinyal yang dikirim oleh satelit dengan ketinggian di atas permukaan bumi sekitar 22.000 km ini tidak ada halangan ataupun hambatan. Namun dalam proses penentuan posisi dengan menggunakan GNSS ini tidak lepas dari berbagai hambatan. Hambatan yang terjadi bisa dari kesalahan saat perambatan sinyal di atmosfer. Salah satu lapisan atmosfer yang dapat menghambat sinyal GNSS adalah troposfer, yang berada di ketinggian 0-10 km dari permukaan bumi. Pada lapisan ini terdiri dari gas – gas yang tidak terionisasi seperti nitrogen, oksigen, argon, karbondioksida dan molekul air, akibat dari gangguan di troposfer adalah adanya penyimpangan jarak antara satelit dan receiver yang disebut *Slant Tropospheric Delay* (STD). STD dapat dikonversi menjadi *Zenith Tropospheric Delay* (ZTD) dengan menggunakan fungsi pemetaan parameter dengan pengaruh dari beberapa parameter yaitu suhu, tekanan, dan kelembapan (Susilo, 2012).

ZTD terdiri dari dua bagian yaitu *zenith hydrostatic delay* (ZHD) dan *zenith wet delay* (ZWD). ZHD mempengaruhi ZTD sekitar 80 -90 % (Abdelfatah, dkk, 2009). ZWD dipengaruhi oleh kandungan uap air, sehingga sulit untuk dimodelkan karena tidak tercampur dengan baik kandungan airnya (Mousa, dkk, 2016). ZTD ini digunakan karena *delay* pada troposfer merupakan salah satu faktor kesalahan dalam penentuan posisi menggunakan GNSS (Nistor, 2016).

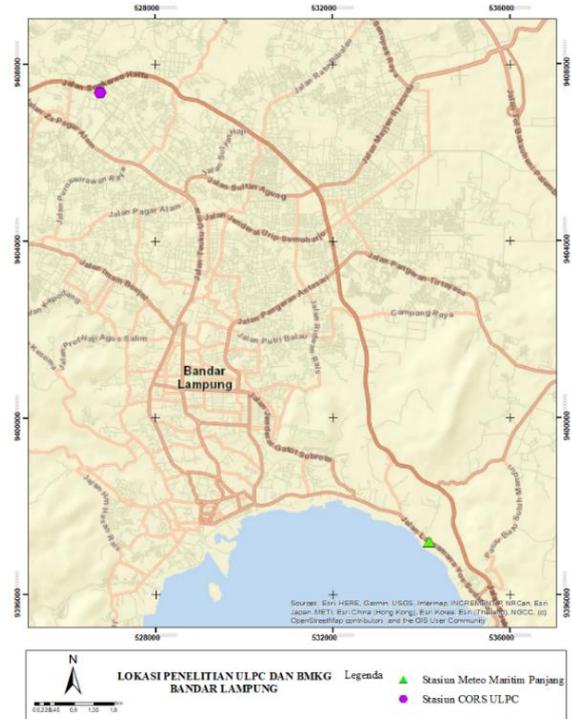
Informasi penting pada ZTD, terkait kandungan uap air di udara (*Precipitable Water Vapour - PWV*) yang dapat digunakan untuk peramalan cuaca. Penelitian ini dibatasi pada pembahasan terkait nilai estimasi ZTD dari data pengamatan *Continuously Operating Reference Station* (CORS) GNSS. Penggunaan data pengamatan stasiun CORS digunakan untuk memperoleh data harian dari estimasi nilai ZTD. Penggunaan data pengamatan stasiun CORS dikarenakan data GNSS CORS terdapat secara 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 (Saputra dkk., 2017). 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 (Bevis dkk, 1994), serta tidak bergantung cuaca (Bai, 2004). Data pengamatan dari CORS GNSS juga memberikan peluang yang baik untuk membangun model ZTD regional dengan akurasi tinggi .

Stasiun CORS ULPC yang dimiliki Universitas Lampung berada di Gedung G Jurusan Teknik Geodesi Universitas Lampung merupakan hasil dari perjanjian kerja sama antara Fakultas Teknik UNILA dengan CHC Navigation Shanghai pada tahun 2021 (Aritonang dkk,

2022). ULPC dijadikan salah satu titik referensi dalam berbagai kegiatan pengukuran dan pemetaan terutama di wilayah sekitar Universitas Lampung.

a. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Koordinat CORS ULPC UNILA yang berada di 5° 21' 41,37" LS dan 105° 14' 30,4861" BT (Aritonang dkk, 2022) dan pada stasiun meteorologi maritim Panjang bandar lampung dengan koordinat 5°28'7" LS dan 105°19'19" BT.

b. Alat dan Bahan

Data yang digunakan dalam penelitian ini anatara lain adalah data *Ocean Tide Loading* (OTL), yang dapat diunduh melalui web chalmers dengan link berikut <http://holt.oso.chalmers.se/loading/> , untuk data yang diunduh menggunakan model data FES2014b dengan memasukkan koordinat kartesian stasiun yang akan dilakukan penelitian dan data yang diunduh menggunakan format \*.blq.

Data RINEX observasi (\*.o) dari stasiun CORS ULPC tahun 2022 dengan 20 data doy yaitu doy 012, 013, 043, 044, 071, 072, 102, 103, 163, 164, 192, 193, 255, 256, 285, 286, 316, 317, 346 dan 347. Data tahun 2023 dengan jumlah 19 data dengan rincian doy yang digunakan adalah doy 012, 013, 043, 044, 071, 072, 101, 133, 192, 193, 224, 225, 255, 256, 285, 286, 317, 346, dan 347. Data dari CORS ULPC

dapat diperoleh dengan mengirimkan email permohonan data melalui email sebagai berikut corsulpc.unila@gmail.com dengan menyampaikan doy yang dibutuhkan beserta kegunaannya.

Data kelembapan dan temperatur dapat diunduh melalui website BMKG yang dapat dilakukan filter data dan stasiun <https://dataonline.bmkg.go.id/home>, pada penelitian ini menggunakan data dari Stasiun Meteorologi Maritim Panjang dengan data kelembapan dan temperatur disesuaikan dengan data pengamatan GNSS.

**c. Tahapan Penelitian**

Data RINEX yang diperoleh dari permohonan data di email adalah berupa Raw data CHC dengan format data “\*.HCN” sehingga apabila akan dilakukan pengolahan harus dikonversi terlebih dahulu ke format RINEX observasi “\*.yyo” dengan menggunakan *software opensource* yaitu CHCData.

Data OTL dan data RINEX yang sudah ada dilakukan proses pengolahan di platform 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 pengolahan ini menggunakan referensi ITRF sesuai dengan tahun pengambilan data. CSRS sendiri sudah ada sejak tahun 2003 untuk pengolahan data GNSS. PPP merupakan metode penentuan posisi secara absolut dengan satu *receiver*, pada penentuan posisi ini dapat mencapai ketelitian dalam satuan cm dengan menambahkan kombinasi koreksi dari data orbit dan jam satelit (Andrei, dkk, 2009).

Metode PPP ini merupakan pengembangan lebih lanjut dari metode absolut, dimana metode ini tidak bergantung pada titik acuan, sehingga metode tersebut memerlukan biaya penelitian yang relatif rendah (Huber dkk., 2010). Hasil pengolahan metode PPP menggunakan CSRS-PPP dapat mendekati koordinat hasil metode komparatif dengan rata-rata beda horizontal 0,120 m dan rata-rata beda tinggi 0,047 m (Azis dkk, 2018). Pada hasil pengolahan dengan menggunakan CSRS-PPP didapat data troposfer berupa ZHD dan ZWD. Penjumlahan dua komponen yaitu ZHD dan ZWD menjadi penentu dari nilai ZTD (Davis dkk, 1985).

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

Pada penelitian Mannani dan Handoko, 2021 disebutkan bahwa ZWD bergantung pada konsentrasi uap air di sepanjang jalur sinyal dengan akurasi 3-4 cm. Data meteorologi yang digunakan dapat melakukan estimasi nilai ZWD ditentukan dengan model Saatomoinen (1972) menurut konstanta Smith & Weintraub (1953) sebagai berikut :

$$ZWD = 0,002768 \times (1255 + 0,05T) \frac{e}{T} \dots\dots(2)$$

Dengan

T = Temperatur (K)

E = Tekanan uap air (mbar)

Tekanan uap air diperoleh dengan menggunakan rumus Magnus Tetens (Murray, 1967) sebagai berikut :

$$e = \frac{RH}{100} \times 6,1078 \times \exp^{17,269388(T-273,16)/(T-35,86)} \dots\dots(3)$$

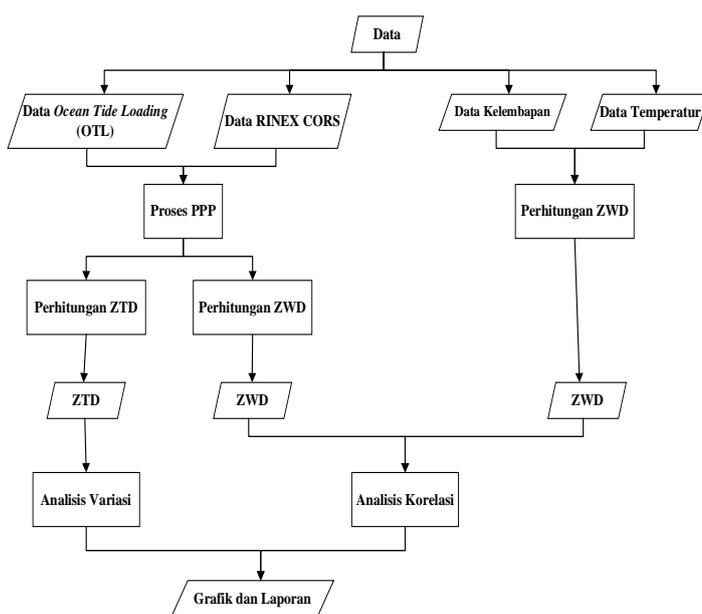
Dengan :

RH = Kelembapan relatif (%)

ZTD merupakan hasil dari penggabungan nilai ZHD dan ZWD. Nilai ZTD dilakukan analisis variasi dari doy sampel pada tahun 2022 dan 2023. Manakah dari nilai tersebut yang merupakan nilai terbesar dan terkecil. ZWD yang didapat dari perhitungan GNSS dan yang didapatkan dari perhitungan data meteorologi dilakukan uji korelasi untuk menentukan besarnya hubungan atau kedekatan antara dua variable (Widyatmoko, 2019).

**2. Pembahasan**

Hasil Pengolahan data CORS ULPC menghasilkan data ZTD dan ZWD menggunakan CSRS-PPP, berikut hasil pengolahan pada tahun 2022 :

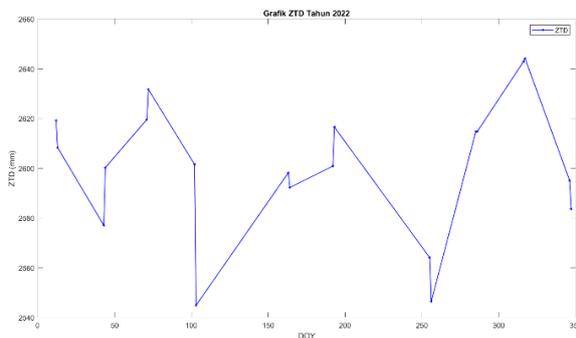


**Gambar 2.** Diagram Alir Penelitian

**Tabel 1.** Nilai ZTD dan ZWD CORS ULPC Tahun 2022

No	DOY	Tanggal	ZTD (mm)	ZWD (mm)
1	012	12 Januari 2022	2619,2010	348,8536
2	013	13 Januari 2022	2608,2661	337,4365
3	043	12 Februari 2022	2577,0531	316,9093
4	044	13 Februari 2022	2600,2491	339,5735
5	071	12 Maret 2022	2619,5877	359,5181
6	072	13 Maret 2022	2631,6952	369,5482
7	102	12 April 2022	2601,5687	336,7170
8	103	13 April 2022	2544,8693	279,8302
9	163	12 Juni 2022	2598,1771	329,5293
10	164	13 Juni 2022	2592,2515	324,0954
11	192	11 Juli 2022	2600,8670	332,8350
12	193	12 Juli 2022	2616,5197	351,1881
13	255	12-Sep-22	2564,0475	294,6680
14	256	13-Sep-22	2546,4743	271,9313
15	285	12 Oktober 2022	2614,7584	344,9730
16	286	13 Oktober 2022	2614,8019	347,7700
17	316	12-Nov-22	2642,8902	376,8302
18	317	13-Nov-22	2644,1204	377,4454
19	346	12 Desember 2022	2595,0175	327,3225
20	347	13 Desember 2022	2583,6161	315,4851

Perhitungan nilai rata – rata ZTD dan ZWD dari data stasiun CORS ULPC pada tahun 2022 dengan 20 doy sampel ditampilkan pada Tabel 1. Nilai ZTD terendah adalah 2544,8693 mm pada doy 103 dan nilai ZWD terendah adalah 271,9313 mm pada doy 256. Nilai ZTD tertinggi adalah 2644,1204 mm dan ZWD tertinggi adalah 377,4454 mm, yang keduanya berada pada doy 317.



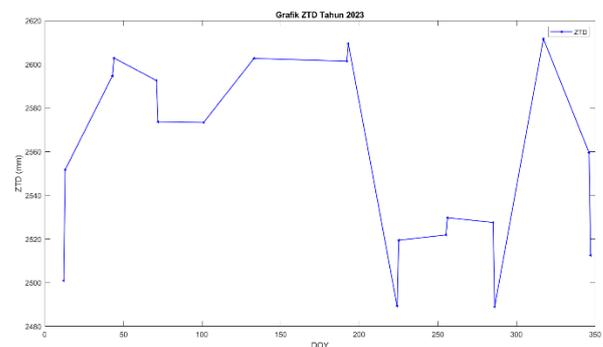
**Gambar. 3** Grafik Nilai ZTD Tahun 2022

Perhitungan nilai rata – rata ZTD dan ZWD dari data stasiun CORS ULPC pada tahun 2023 dengan 19 doy sampel ditampilkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai ZTD dan ZWD CORS ULPC Tahun 2023

No	DOY	Tanggal	ZTD (mm)	ZWD (mm)
1	012	12 Januari 2023	2500,9439	233,2229
2	013	13 Januari 2023	2551,7849	283,2715
3	043	12 Februari 2023	2594,7040	326,6793
4	044	13 Februari 2023	2602,8580	336,1265
5	071	12 Maret 2023	2592,5804	322,4459
6	072	13 Maret 2023	2573,6663	306,8459
7	101	11	2573,3478	305,4653
8	133	13 Mei 2023	2602,6816	330,7882
9	192	11 Juli 2023	2601,3810	330,6946
10	193	12 Juli 2023	2609,4528	338,2089
11	224	12 Agustus 2023	2489,3323	216,5655
12	225	13 Agustus 2023	2519,4289	245,4730
13	255	12-Sep-23	2521,8717	248,9482
14	256	13-Sep-23	2529,7684	257,3241
15	285	12 Oktober 2023	2527,5742	254,2260
16	286	13 Oktober 2023	2488,9984	215,7660
17	317	13-Nov-23	2611,6535	340,9047
18	346	12 Desember 2023	2559,5912	292,2702
19	347	13 Desember 2023	2512,5143	243,2607

Nilai ZTD terendah adalah 2488,9984 mm dan nilai ZWD terendah adalah 215,766 mm, keduanya berada pada doy 286. Nilai ZTD tertinggi adalah 2611,6535 mm dan ZWD tertinggi adalah 340,9047 mm keduanya berada pada doy 317.

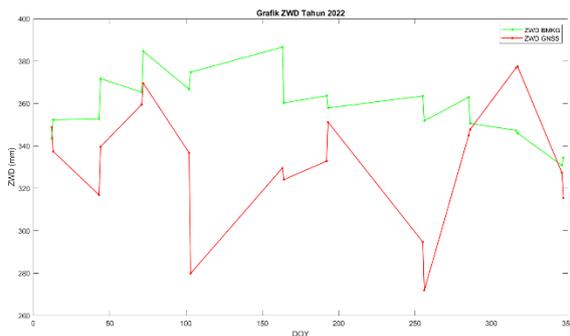


**Gambar. 4** Grafik Nilai ZTD Tahun 2023

Hasil nilai ZTD dengan sampel 20 data pada tahun 2022 dan 19 data pada tahun 2023 nilai tertinggi sama-sama di tanggal 13 November (doy 317) begitu pula dengan nilai ZWD tertinggi pada data sampel tahun 2022 dan 2023 juga pada tanggal 13 November (doy 317). Sedangkan untuk nilai terendah ZTD dan ZWD pada tahun 2023 terdapat pada tanggal 13 Oktober (doy 286), namun pada tahun 2022 untuk nilai terendah ZWD dan ZTD berbeda hari, yang ZWD pada 13 April sedangkan ZTD pada 13 September. Pada data sampel yang ditunjukkan di Tabel 1 dan Tabel 2 diperoleh nilai ZTD dan ZWD rata-rata tahun 2022 lebih tinggi daripada tahun 2023 dengan nilai rata-rata tahun 2022 ZTD adalah 2600,8016 mm dan nilai ZWD adalah 334,1230 mm.

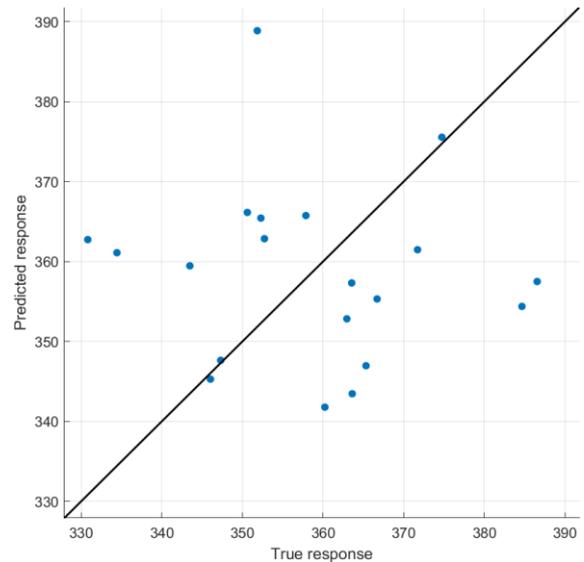
Nilai ZWD yang diperoleh dari pengolahan data RINEX dan data meteorologi dibandingkan untuk mengetahui hubungan kedua data tersebut. Nilai ZWD yang dibandingkan merupakan nilai sesuai tanggal pengambilan data RINEX.. Penelitian ini menggunakan data dari stasiun Meteorologi Maritim Panjang.

Perbedaan Nilai ZWD dari data GNSS dan meteorologi pada tahun 2022 dapat dilihat dari pada grafik berikut :



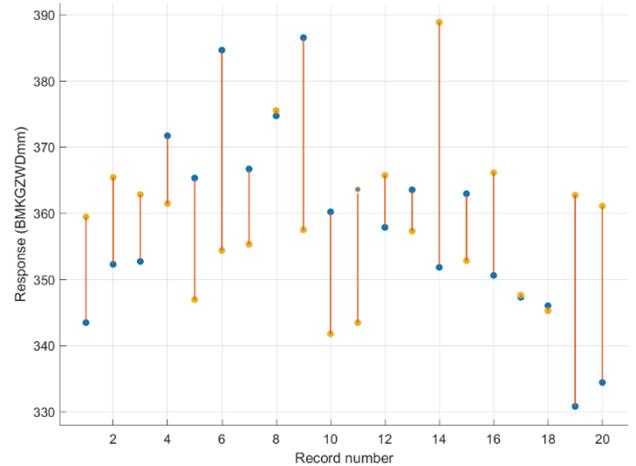
**Gambar 5.** Grafik perbandingan Nilai ZWD CORS ULPC – Maritim Panjang tahun 2022

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai ZWD dari meteorologi mayoritas lebih tinggi dari nilai ZWD dari GNSS meskipun ada di satu titik nilai ZWD GNSS lebih tinggi daripada nilai ZWD meteorologi. Korelasi yang dihasilkan pada tahun 2022 adalah cukup kuat dengan nilai  $R^2$  (determinasi) adalah 0,55, hal ini didasarkan pada kriteria koefisien korelasi apabila berada pada rentang  $0,5 \leq r \leq 0,70$  adalah masuk kriteria cukup kuat (Hinkle dkk., 2003).



**Gambar 6.** Scatter Plot perbandingan Nilai ZWD CORS ULPC – Maritim Panjang tahun 2022

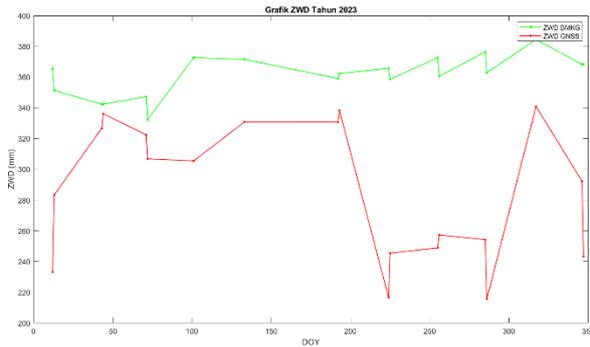
Pada Gambar 6. Nilai variabel terikat (*predicted*) adalah data GNSS dan variabel bebas (*response*) adalah data meteorologi. Nilai RMS error yang didapat pada tahun 2022 adalah 0,0189 m. Gambar 6 memperlihatkan bahwa data titik – titik 20 sampel pada tahun 2022 menyebar. Untuk mengetahui nilai error pada titik ZWD dari nilai prediksi yang ditandai pada titik warna orange dan nilai sebenarnya pada titik warna biru sedangkan garis tersebut menunjukkan nilai selisihnya, hal tersebut dilihat pada Gambar 7 .



**Gambar 7.** Perbedaan Nilai perkiraan ZWD dan Nilai sebenarnya tahun 2022

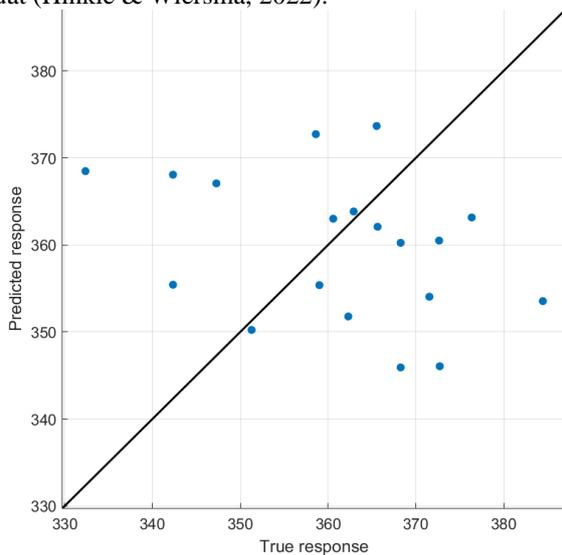
Analisis regresi linear yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode *Support Vector Machine* (SVM), metode ini juga dapat mengatasi masalah klasifikasi dan regresi dengan linear dan non-linear (Rahman dkk, 2012)

Perbedaan Nilai ZWD dari data GNSS dan meteorologi pada tahun 2023 dapat dilihat dari pada grafik berikut :



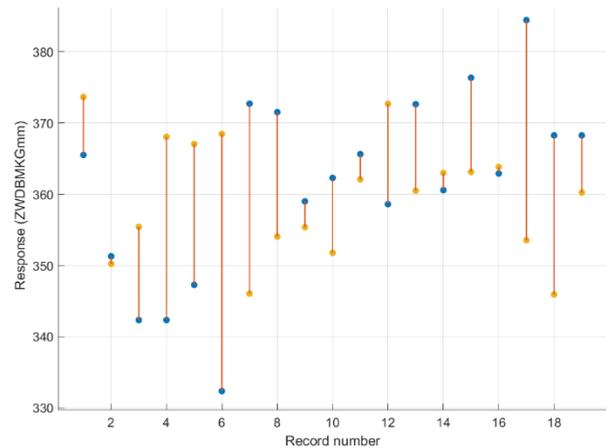
**Gambar 8.** Grafik perbandingan Nilai ZWD CORS ULPC – Maritim Panjang tahun 2023

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai ZWD dari meteorologi lebih tinggi dari nilai ZWD dari GNSS. Korelasi yang dihasilkan pada tahun 2023 adalah cukup kuat dengan nilai  $R^2$  (determinasi) adalah 0,58, hal ini didasarkan pada kriteria koefisien korelasi apabila berada pada rentang  $0,5 \leq r \leq 0,70$  adalah masuk kriteria cukup kuat (Hinkle & Wiersma, 2022).



**Gambar 9.** Scatter Plot perbandingan Nilai ZWD CORS ULPC – Maritim Panjang tahun 2023

Pada Gambar 9. Nilai variabel terikat (*predicted*) adalah data GNSS dan variabel bebas (*response*) adalah data meteorologi. Nilai RMS error yang didapat pada tahun 2023 adalah 0,0175 m. Gambar 9 memperlihatkan bahwa data titik – titik 19 sampel pada tahun 2023 menyebar. Untuk mengetahui nilai error pada titik ZWD dari nilai prediksi yang ditandai pada titik warna oranye dan nilai sebenarnya pada titik warna biru sedangkan garis tersebut menunjukkan nilai selisihnya, hal tersebut dilihat pada Gambar 10. Analisis regresi linear yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode *Support Vector Machine* (SVM).



**Gambar 7.** Perbedaan Nilai perkiraan ZWD dan Nilai sebenarnya tahun 2023

Menurut data dari Layanan Perubahan Iklim Copernicus BBC, tahun 2023 menjadi tahun terpanas yang pernah tercatat akibat perubahan iklim yang disebabkan oleh manusia dan fenomena cuaca El Nino. El Nino merupakan peristiwa alam pelepasan panas ke atmosfer di Samudera Pasifik bagian timur. Menurut pengamatan BMKG suhu udara rata-rata pada 2023 adalah 27,2 °C dengan anomali 0,5 °C dibandingkan suhu udara rata-rata periode 1991-2020. Puncak dari rentetan rekor suhu pada 2023 terjadi antar 15 Agustus – 8 Desember 2023.

Perbedaan model yang digunakan dan data mungkin menyebabkan perbedaan nilai ZWD, namun karena nilai korelasinya kuat dan error RMSnya kecil, maka pengolahan ini dapat dilanjutkan untuk analisis (Mannani dkk, 2021). Pada penelitian Mannani dkk, 2021 didapatkan koordinat lintang dapat mempengaruhi nilai tren dari ZWD, jadi akan lebih baik apabila dipenelitian selanjutnya ditambahkan analisa pergeseran koordinat juga.

### 3. Kesimpulan

Hasil nilai ZTD dengan sampel 20 data pada tahun 2022 dan 19 data pada tahun 2023 nilai tertinggi sama-sama di tanggal 13 November (doy 317) begitu pula dengan nilai ZWD tertinggi pada data sampel tahun 2022 dan 2023 juga pada tanggal 13 November (doy 317). Sedangkan untuk nilai terendah ZTD dan ZWD pada tahun 2023 terdapat pada tanggal 13 Oktober (doy 286), namun pada tahun 2022 untuk nilai terendah ZWD dan ZTD berbeda hari, yang ZWD pada 13 April sedangkan ZTD pada 13 September. Pada data sampel yang ditunjukkan di Tabel 1 dan Tabel 2 diperoleh nilai ZTD dan ZWD rata-rata tahun 2022 lebih tinggi daripada tahun 2023 dengan nilai rata-rata tahun 2022 ZTD adalah 2600,8016 mm dan nilai ZWD adalah 334,1230 mm. Korelasi yang dihasilkan pada tahun 2022 adalah cukup kuat dengan nilai  $R^2$  (determinasi) adalah 0,55 dan korelasi yang dihasilkan pada tahun 2023 adalah cukup kuat dengan nilai  $R^2$  (determinasi) adalah 0,58.

**Daftar Pustaka**

- Abdelfatah, M A, A.E Mousa, I.M Salama, and G.S El-Filky. 2009. Assessment of tropospheric delay models in GPS baseline data analysis; a case study of a regional network at upper Egypt. Mesir: Al-Azhar University.
- Andrei, C., Chen, R., Kuusniemi, H., Hernandezpajares, M., Juan, J. M., & Salazar, D.(2009). Ionosphere Effect Mitigation for Single- Frequency Precise Point Positioning, 2508–2517.
- Arief, Syahrul & Andrea Gatti. 2020. Analyzing The Tropospheric Delay Estimates on Global Navigation Satellite System (GNSS) with Precise Point Positioning (PPP) Services using the goGPS Software. *Journal* Vol. 3 No. 2 pp 79-84. <https://doi.org/10.22146/jgise.56071>.
- Aritonang, Deni, Fajriyanto & Eko Rahmadi. 2022. Strategi Pendefinisian CORS ULPC dengan kombinasi satelit GPS dan GLONASS. *Datum : Journal of Geodesy and Geomatics* Vol. 2 No 2.
- Azis, R.A., H. F. Suhandri & D. D. Wijaya. 2018. Ketelitian Posisi Pengamatan GNSS Metode Precise Point Positioning dan Metode Posisi Relatif. *ITB Indonesian Journal of Geospatial* Vol. 05 No. 2, 2018, 1-10.
- Bai, Z. 2004. Near-Real-Time GPS Sensing of Atmosphere Water Vapour. Queensland: Cooperative Research Centre for Satellite Systems.
- Davis, J. L, T. A. Herrin, I. I. Shapiro, A.E.E. Rogers, and G. Elgered. 1985. "Geodesy by radio interferometry: Effect of Atmospheric Modeling Errors on Estimates of Baseline Length." *Radio Science* 20 (6): 1593-1607.
- Handoko, Dadang, Nurromat Widjadjanti, Buldan Muslim. 2019. Performa Metode Precise Point Positioning (PPP) dengan koreksi ionosfer orde 1 pada data pengamatan stasiun CORS BIG. (*Jurnal Geodesi dan Geomatika, Departemen Teknik Geodesi UNDIP*) *Jurnal Elipsoidal* Vol. 02 No 02, November 2019 (79-84).
- Hinkle, D. E., Wiersma, W., & Jurs, S. G. 2003. *Applied Statistics for the behavioral sciences* (5<sup>th</sup> Ed.). Boston: Houghton Mifflin.
- Huber, K., Heuberger, F., Abart, C., Karabatic, A., Weber, R., Berglez, P. 2010. ppp: Precise Point Positioning – Constraints and Opportunities. *FIG Congress* 2010.
- Isnaini, Een Lujainatul & Redho Surya Perdanan. 2021. Penentuan Zenith Tropospheric Delay Menggunakan Data CORS GNSS. *Journal of Science, Technology, and Virtual* Vol 1 No. 1 Tahun 2021.
- Mannani, N.A.C., & Handoko, E.Y. 2021. Analisis Variasi Temporal-Spasial Nilai Zenith Tropospheric Delay Menggunakan Data CORS di Provinsi Jawa Timur. *Geoid*, 16(2), 215 – 230.
- Mousa, Ashraf El-Kutb, N Aboualy, M. Sharaf, H Zahra, and M Darrag. 2016. "Tropospheric wet delay estimation using GNSS: Case study of a permanent network in Egypt." *NRIAG Journal Astronomy and Geophysics* V (-): 76-86.
- Murray, F. W. 1967. On the Computation of Saturation Vapor Pressure. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 6(1), 203-204.
- Nistor, Sorin, and Aurelian Stelian Buda. 2016. "Determination Of Zenith Tropospheric Delay And Precipitable Water Vapor Using Gps Technology." *Mathematical Modelling in Civil Engineering* 12 (1): 21-26.
- Rachman, F dan Purnami, S.W. 2012. Klasifikasi Tingkat Keganasan Breast Cancer dengan Menggunakan Regresi Logistik Ordinal dan Support Vector Machine (SVM). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, Vol. 1, No. 1 ISSN :2301-928X.
- Riduwan, A., I. Triyuwono, G. Irianto, dan U. Ludigdo . 2010. Semiotika Laba Akuntansi: Studi Kritis - Posmodernis Derridean. *Jurnal Akuntansi dan Keuangan Indonesia* 7(1): 38–60.
- Saputra, Renaud., Awaluddin, Moehammad., dan Yuwono, Bambang Darmo. 2017. Analisis Deformasi di Wilayah Jawa Timur dengan Menggunakan CORS BIG. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 422–432.
- Smith, E K, and S Weintraub. 1953. "The constants in the equation for atmospheric refractive index at radio frequencies." *IRE* 41: 1035-1037.
- Susilo. 2012. Pemantauan Precipitable Water Vapor (PWV) di Wilayah Jawa Barat menggunakan GPS Kontinyu. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Widyatmoko, Eka Trimas. 2019. "Uji Skema Parameterisasi Model WRF - ARW Saat Kejadian Hujan Ekstrem (Studi Kasus Stasiun Meteorologi Minangkabau)." *Buletin BMKG Wilayah II* 9 (3): 1-11.