

## Analisis Variasi Temporal-Spasial Nilai *Zenith Tropospheric Delay* menggunakan Data CORS di Provinsi Jawa Timur

### *Temporal-Spatial Variation Analysis of Zenith Tropospheric Delay Using CORS Data Over East Java Province*

Norma Aji Cemara Mannani<sup>1</sup>, Eko Yuli Handoko\*<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Departemen Teknik Geomatika, FTSLK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

\*Korespondensi penulis: ekoyh@geodesy.its.ac.id

Diterima: 14082020; Diperbaiki: 22022021; Disetujui: 23022021; Dipublikasi: 07042021

**Abstrak:** *Global Navigation Satellite System (GNSS)* semakin dikembangkan sebagai sistem penginderaan jauh atmosfer, salah satunya melalui perhitungan *Zenith Tropospheric Delay (ZTD)*. Seiring dengan pengembangan stasiun CORS, maka mendorong dilakukannya penelitian mengenai ZTD dengan data yang kontinyu dan resolusi spasial yang baik karena letak stasiun CORS tersebar merata. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik variasi spasial dan temporal dari salah satu komponen ZTD, yaitu *Zenith Wet Delay (ZWD)*. Studi kasus penelitian ini adalah Provinsi Jawa Timur dengan menggunakan 16 stasiun CORS. Selain data CORS, digunakan pula data meteorologi dari empat stasiun milik BMKG di Jawa Timur yang digunakan sebagai data pembanding. Perhitungan nilai ZTD dan ZWD menggunakan perangkat lunak GIPSY 6.4. Nilai ZWD divisualisasikan dengan gridding metode krigging dengan ukuran grid  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ . Terdapat pola penurunan pada nilai trend ZWD rata-rata sebesar sekitar 1,628 mm/tahun. Karakteristik variasi spasial dan temporal dari nilai ZWD dipengaruhi beberapa faktor, di antaranya angin monsun Asia dan Australia yang menyebabkan adanya musim, fenomena global seperti El Nino dan La Nina, intensitas curah hujan, kondisi meteorologi lokal seperti suhu dan kelembaban, cuaca, dan topografi dari stasiun.

*Copyright © 2021 Geoid. All rights reserved.*

**Abstract:** *Global Navigation Satellite System (GNSS)* are being developed as an atmospheric remote sensing system through the calculation of ZTD. The development of CORS station encourages research investigations about *Zenith Tropospheric Delay (ZTD)* with continuous data and good spatial resolution. This research studies about characteristics of spatial and temporal variation from ZWD in East Jawa. The case study in East Jawa Province Using 16 CORS Station. Meteorological data from four BMKG's stations are used as comparison data. ZTD and ZWD value from CORS data are calculated using GIPSY 6.4 Software. ZWD values are gridded using the kriging method with the size of the grids is  $0,25 \times 0,25$ . ZWD value comparison from CORS and meteorology data have a strong correlation with coefficient value is 0,712. The mean ZWD trend is decreasing by about 1,628 mm/yr. Characteristics of spatial and temporal variations of the ZWD value influenced by monsoon Asia-Australian which cause dry and rainy seasons, global phenomena such as El Nino and La Nina, rainfall, local meteorological conditions such as temperature and humidity, weather, and topography of the stations.

Kata kunci : CORS; GNSS; variasi; ZTD; ZWD

---

Cara untuk sitasi: 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.

---

## Pendahuluan

Pemanfaatan *Global Navigation Satellite System (GNSS)* kini tidak hanya sebagai teknologi dalam penentuan posisi tetapi juga digunakan dalam beberapa studi lainnya. Salah satunya adalah pengembangan GNSS sebagai sistem penginderaan jauh atmosfer dengan resolusi tinggi (Bevis & Businger, 1994). Dalam pemanfaatannya sebagai sistem penginderaan jauh atmosfer, hal ini berkaitan dengan pergerakan sinyal yang berasal dari satelit menuju receiver yang melewati atmosfer. Pada lapisan atmosfer, khususnya troposfer, sinyal mengalami penundaan (*delay*) dan pembelokan (*bending*) yang menyebabkan adanya penyimpangan jarak yang disebut *Slant Tropospheric Delay (STD)*. STD dapat dikonversi menjadi *Zenith Tropospheric Delay (ZTD)* menggunakan mapping function.

ZTD dibagi menjadi dua komponen, yaitu *Zenith Hydrostatic Delay* (ZHD) dan *Zenith Wet Delay* (ZWD). ZHD disebabkan oleh gas kering dan partikel di troposfer dan mempengaruhi sekitar 80-90% dari ZTD (Abdelfatah, dkk, 2009) ZHD dapat dihitung berdasarkan beberapa model dalam penelitian sebelumnya, seperti Saastamoinen, Hopfield, dan sebagainya, sedangkan ZWD dipengaruhi oleh kandungan uap air yang menyebabkan sulit untuk dimodelkan karena kandungan uap air tidak tercampur secara baik (Mousa, dkk, 2016).

Sebagai sistem penginderaan jauh atmosfer, penelitian mengenai ZTD perlu dilakukan karena ZTD adalah parameter penting dari atmosfer, yang mencerminkan cuaca dan iklim, variasi, dan gerakan vertikal atmosfer (Jin, dkk, 2007). Penggunaan GNSS sebagai sistem penginderaan jauh atmosfer lebih menguntungkan karena memiliki resolusi temporal yang tinggi, dan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan teknologi konvensional, seperti radiosonde dan *satellite radiometer sounding* (Bevis & Businger, 1994). Selain itu, GNSS lebih menguntungkan karena tidak bergantung cuaca (Bai, 2004). Didukung pula dengan pengembangan penggunaan GNSS CORS (*Continuously Operating Reference Station*) oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). BIG telah mendirikan stasiun CORS yang terdistribusi secara merata di berbagai kota sehingga dengan menggunakan data CORS mendukung untuk mendapatkan data dengan resolusi spasial yang tinggi.

Pada penelitian ini, dilakukan analisis dari perhitungan nilai ZTD dan ZWD, sedangkan untuk ZHD telah dapat dimodelkan secara akurat. Perhitungan tersebut menggunakan perangkat lunak GPS *Inferred Positioning System* (GIPSY) yang dikembangkan oleh *Jet Propulsion Laboratory* (JPL). Pada perangkat lunak ini, data yang digunakan berdasarkan metode *precise point positioning* (PPP). Dengan menggunakan metode PPP, proses perhitungan akan dilakukan tiap stasiun secara terpisah. Keuntungan dari metode ini dibanding metode differensial adalah tidak ada pengaruh antar stasiun, sehingga apabila terjadi kesalahan pada stasiun tidak berdampak terhadap nilai di stasiun lainnya (Khaniani & Ghahremani, 2018).

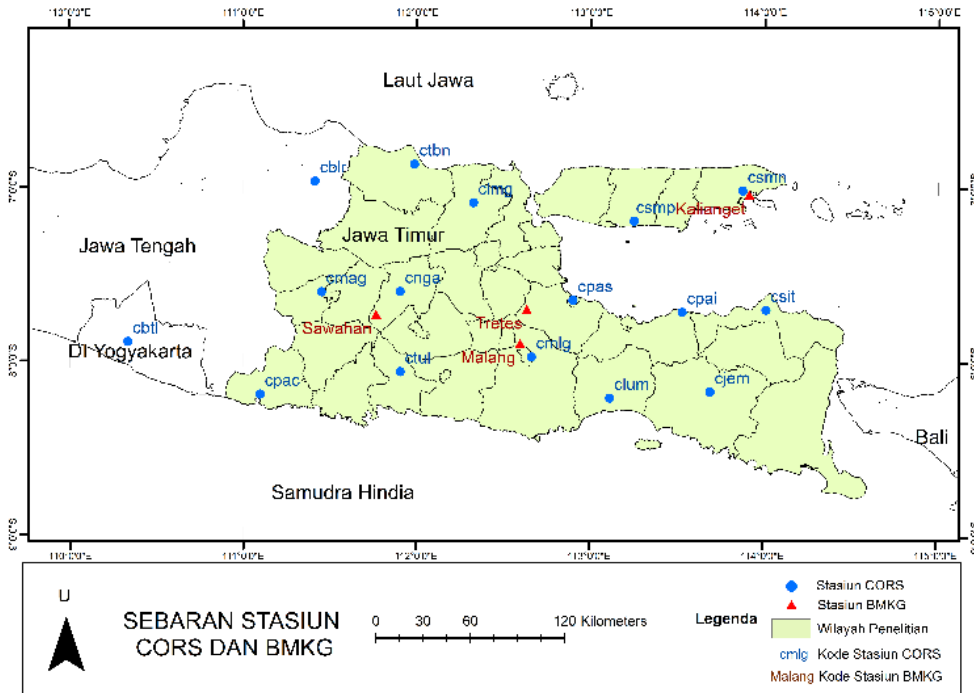
Berdasarkan perhitungan nilai, kemudian dapat dibentuk suatu pemodelan yang dapat digunakan untuk mengetahui variasi spasial dan temporal dari ZTD dan ZWD. Dalam melakukan pemodelan variasi diperlukan data yang kontinu selama periode waktu tertentu. Oleh karena itu, pada penelitian ini dipilih penggunaan data dari stasiun CORS yang memiliki data kontinu untuk mendapatkan hasil yang optimal. Dengan diketahui variasi spasial dan temporal ZTD dan ZWD diharapkan dapat digunakan sebagai sumber informasi dan studi lebih lanjut, baik mengenai *delay* pada troposfer maupun mengenai perubahan cuaca dan iklim.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan nilai ZTD dan ZWD dari stasiun CORS, melakukan perhitungan korelasi perbandingan nilai ZWD antara data dari stasiun CORS dan stasiun meteorologi, dan menganalisis karakteristik variasi spasial dan temporal dari ZWD di wilayah Jawa Timur.

## Data dan Metode

Lokasi yang dijadikan studi kasus dalam penelitian ini adalah Provinsi Jawa Timur yang terbatas pada bagian Pulau Jawa dan Madura. Gambar 1 merupakan sebaran lokasi dari stasiun yang digunakan, baik itu stasiun CORS milik BIG yang merupakan sumber data GNSS maupun stasiun milik BMKG yang merupakan sumber data meteorologi.

Tabel 1 merupakan daftar koordinat dari stasiun CORS yang digunakan. Data koordinat tersebut diambil dari situs resmi milik BIG yaitu *inacors.big.go.id*. Tinggi (H) yang dimaksud dalam tabel merupakan tinggi ellipsoid dengan satuan meter. Data CORS digunakan adalah data observasi (\*.o) pada tahun 2015 – 2018 kecuali pada stasiun CJEM hanya tahun 2015 hingga 2017 dan CBTL tahun 2015, 2016, 2017.



Gambar 1. Sebaran Stasiun CORS dan BMKG (Pengarang, 2020)

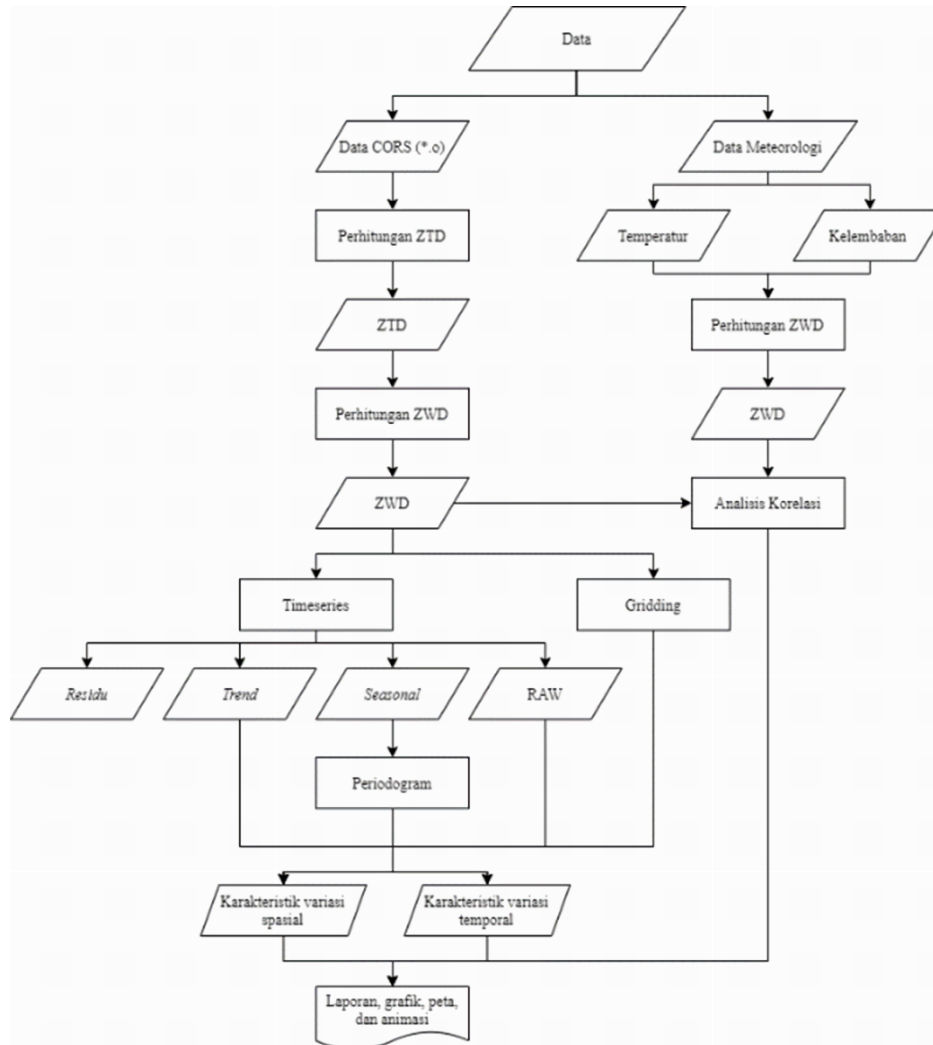
Tabel 1. Koordinat Stasiun CORS

Kode	Lokasi	Bujur	Lintang	H (m)
<b>CJEM</b>	Jember	113,693	-8,175	121,880
<b>CLMG</b>	Lamongan	112,327	-7,093	39,590
<b>CLUM</b>	Lumajang	113,115	-8,214	195,060
<b>CMAG</b>	Magetan	111,451	-7,606	127,230
<b>CMLG</b>	Malang	112,663	-7,980	474,670
<b>CNGA</b>	Nganjuk	111,905	-7,605	86,620
<b>CPAC</b>	Pacitan	111,098	-8,196	37,620
<b>CPAI</b>	Paiton (Probolinggo)	113,530	-7,719	44,180
<b>CPAS</b>	Pasuruan	112,901	-7,651	43,340
<b>CSIT</b>	Situbondo	114,013	-7,703	72,270
<b>CSMN</b>	Sumenep	113,875	-7,018	40,740
<b>CSMP</b>	Sampang	113,252	-7,195	46,090
<b>CTBN</b>	Tuban	111,986	-6,872	36,160
<b>CTUL</b>	Tulungagung	111,906	-8,066	123,720
<b>CBLR</b>	Blora	111,415	-6,969	118,390
<b>CBTL</b>	Bantul	110,335	-7,893	72,590

Tabel 2 menampilkan pula koordinat stasiun milik BMKG yang digunakan dalam penelitian ini. Stasiun tersebut dipilih dengan mempertimbangkan ketersediaan data dan jarak dengan stasiun CORS. Data koordinat diambil dari situs resmi milik BMKG yaitu <http://dataonline.bmkg.go.id>. Tinggi(H) yang dimaksud adalah tinggi ellipsoid dengan satuan meter. Data meteorologi yang digunakan adalah data temperatur dan kelembaban relatif pada tahun 2015 – 2018.

Tabel 2. Koordinat Stasiun BMKG

Nama	Lokasi	Lintang	Bujur	H (m)
Stasiun Geofisika Sawahan	Nganjuk	-7,735	111,767	723
Stasiun Klimatologi Malang	Malang	-7,901	112,598	590
Stasiun Geofisika Tretes	Pasuruan	-7,705	112,635	832
Stasiun Meteorologi Kalianget	Sumenep	-7,040	113,914	3



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian (Pengarang, 2020)

Gambar 2 menggambarkan metode yang dilakukan pada penelitian ini. Perhitungan data ZTD dan ZWD dari data CORS menggunakan perangkat lunak GIPSY 6.4 sedangkan perhitungan nilai ZWD dari data meteorologi menggunakan perangkat lunak MATLAB R2019a menggunakan model (Saastamoinen, 1972) dengan konstanta (Smith & Weintraub, 1953) berikut ini :

$$ZWD = 0.002768 \times (1255 + 0.05T) \frac{e}{T} \tag{1}$$

Keterangan:

T = Temperatur (K)

e = tekanan uap air (mbar) yang dapat dihitung berdasarkan nilai rumus Magnus Tetens (Murray, 1966) :

$$e = \frac{RH}{100} \times 6.1078 \times \exp^{17.269388(T-273.16)/(T-35.86)} \tag{2}$$

Keterangan:

RH = kelembapan relatif (%)

Kedua data tersebut dianalisis hubungannya menggunakan uji korelasi *pearson*. Data ZWD dari data CORS dianalisis lebih lanjut mengenai karakteristik temporal berdasarkan hasil dekomposisi *time series* dengan metode *Seasonal-Trend Decomposition Prosedur Based On Loess (STL)* yang menghasilkan komponen *trend*, *seasonal*, dan residu. Proses tersebut dilakukan di RStudio. Komponen *trend* dianalisis lebih lanjut dengan penggambaran tren linier sedangkan komponen *seasonal* dianalisis berdasarkan periodogram menggunakan teknik *Lomb-Scargle periodogram*. Karakteristik variasi spasial dianalisis berdasarkan hasil gridding. Gridding dilakukan pada perangkat lunak Surfer 10 dengan ukuran grid 0,25 x 0,25 derajat. Gridding dilakukan dengan beberapa interval, yaitu harian, bulanan, tahunan, dan empat tahunan. Visualisasi hasil grid dilakukan pada perangkat lunak MATLAB.

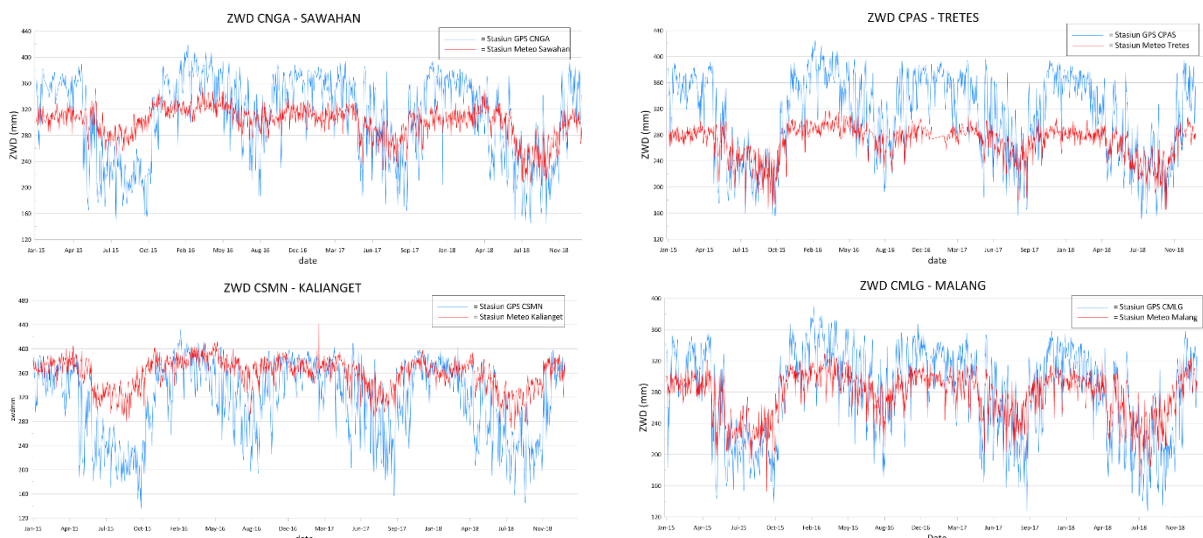
**Hasil dan Pembahasan**

Perhitungan nilai ZTD dan ZWD dari data CORS dilakukan pada masing-masing stasiun dan didapatkan nilai dengan interval 300 detik. Nilai ZTD dan ZWD kemudian dirata-rata per bulan sehingga dapat diketahui bulan yang memiliki nilai tertinggi dan terendah selama satu tahun. Nilai rata-rata tiap bulan ZTD dan ZWD dari seluruh stasiun ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai rata-rata bulanan ZTD dan ZWD

Tahun	ZTD (mm)		ZWD (mm)	
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
2015	2371,948	2658,736	188,065	372,592
2016	2428,34	2682,408	252,640	394,008
2017	2387,122	2664,985	211,422	376,985
2018	2366,509	2662,259	190,809	375,059

**1. Perbandingan Nilai ZWD dari Data CORS dan Meteorologi**



Gambar 3. Grafik ZWD data CORS dan meteorologi (Pengarang, 2020)

Perbandingan nilai ZWD dari GPS dengan data meteorologi bertujuan untuk mengetahui hubungan dari kedua nilai. Pemilihan nilai ZWD yang dibandingkan didasarkan dengan faktor ketersediaan data dan jarak antar stasiun. Sehingga didapatkan empat pasang stasiun CORS dan stasiun meteorologi milik BMKG yang

dilakukan perbandingan. Stasiun tersebut adalah stasiun CMLG dengan stasiun Klimatologi Malang, stasiun CNGA dengan stasiun Geofisika Sawahan, stasiun CSMN dengan stasiun Meteorologi Kalianget, dan stasiun CPAS dengan stasiun Geofisika Tretes. Perbandingan nilai kedua data pada tiap pasang stasiun dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat nilai ZWD dari kedua data memiliki pola yang cenderung sama tetapi nilai ZWD dari data meteo tidak mengalami perubahan yang signifikan dibanding dengan data GPS. Hal tersebut dikarenakan estimasi ZWD dari data CORS merupakan proses integrasi sepanjang jalur propagarsi sinyal, sedangkan perhitungan ZWD dari data meteorologi hanya menggunakan parameter meteorologi permukaan.

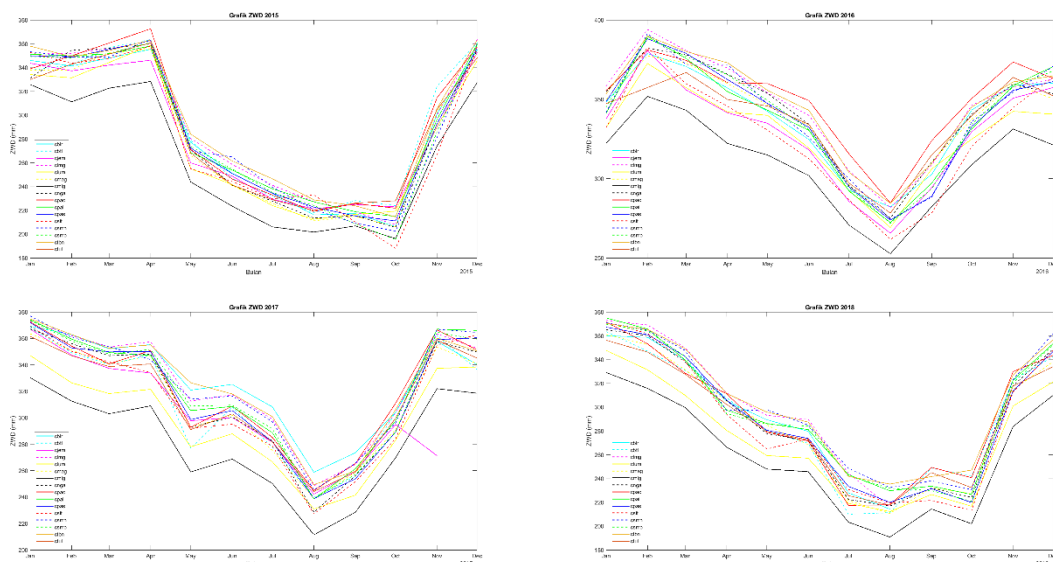
Nilai korelasi dapat dilihat pada Tabel 4 dengan nilai korelasi tertinggi berada pada stasiun CMLG – Malang dengan nilai 0,814 yang memiliki hubungan kuat dan terendah pada CNGA – Sawahan dengan nilai 0,634 yang memiliki hubungan kuat. Berdasarkan perhitungan tersebut menunjukkan bahwa rata-rata korelasi nilai ZWD dari data CORS dan meteorologi adalah 0,712. Sehingga diketahui bahwa ZWD dari data GPS dan meteorologi memiliki hubungan yang kuat.

Tabel 4. Nilai koefisien korelasi dan RMSe

Stasiun		r	Kriteria	RMSe (mm)
GPS	Meteo			
CMLG	Malang	0,814	Kuat	37
CNGA	Sawahan	0,634	Kuat	52
CSMN	Kalianget	0,654	Kuat	66
CPAS	Tretes	0,746	Kuat	59

Rata-rata RMS error yang terjadi sebesar 53 mm. Selisih nilai pada kedua data ZWD dapat terjadi karena faktor, di antaranya perbedaan interval data dan metode pengolahan. Pada data GPS memiliki interval data 300 detik sedangkan data meteorologi merupakan data harian sehingga perlu dilakukan penyesuaian dengan melakukan perhitungan rata-rata pada ZWD data GPS.

## 2. Analisis Variasi Temporal



Gambar 4. Grafik ZWD tahun 2015 – 2018 (Pengarang, 2020)

Analisis variasi temporal berdasarkan rerata tahunan dilakukan dengan menganalisis grafik dari nilai rata-rata ZWD bulanan yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Tahun 2015 – 2018, nilai ZWD pada bulan Januari hingga April merupakan nilai yang tinggi sedangkan pada bulan Mei mengalami penurunan hingga paling rendah pada



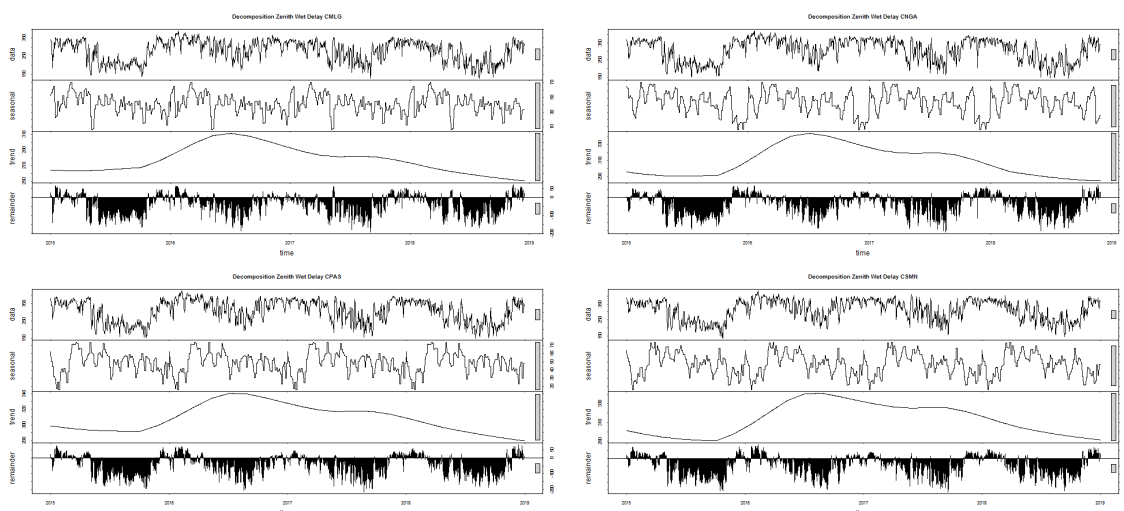
sekitar bulan Agustus – Oktober. Pada bulan November kembali mengalami nilai yang tinggi. Pola tersebut secara umum terulang pada setiap tahunnya meskipun terdapat beberapa perbedaan mengenai puncak tertinggi dan terendah yang terjadi pada masing-masing tahun. Semua stasiun pada tiap tahun memiliki pola yang identik.

Perubahan naik turunnya nilai ZWD dapat disebabkan oleh adanya aktivitas angin monsun Asia dan Australia. Terdapat dua sistem angin monsun di Asia, monsun Asia dan monsun Australia. Angin monsun Asia berlangsung selama Oktober hingga April yang menyebabkan musim hujan di Indonesia sedangkan angin monsun Australia berlangsung selama April hingga Oktober yang menyebabkan musim kemarau di Indonesia (Ramage, 1971).

Tahun 2016-2018, pada bulan Oktober hingga April, setiap stasiun memiliki nilai ZWD yang lebih tinggi daripada bulan April hingga Oktober sehingga nilai ZWD pada musim hujan lebih tinggi daripada musim kemarau. Selain itu, menurut Badan Pusat Statistika (BPS) (2018), curah hujan tertinggi pada tahun 2016 terjadi pada bulan Februari sehingga dapat dikatakan bulan Februari merupakan puncak musim hujan. Hal tersebut berhubungan dengan puncak tertinggi nilai ZWD tahun 2016 berada pada bulan Februari. Badan Pusat Statistika (BPS) (2018) menerangkan bahwa rata-rata curah hujan terendah pada tahun 2017 terjadi pada bulan Agustus yang menjadi puncak kemarau. Berdasarkan Gambar 2, puncak terendah tahun 2017 pada bulan Agustus. Oleh karena itu, nilai ZWD dipengaruhi oleh keberadaan musim yang disebabkan adanya angin monsun.

Pada tahun 2015, terdapat perbedaan yang cukup mencolok dibanding tahun lainnya. Sebagai gambaran, nilai tertinggi pada tahun 2015 terdapat pada bulan April, sedangkan pada tahun lainnya terdapat pada bulan Januari – Februari. Hal tersebut terjadi karena adanya pengaruh *El Nino Southern Oscillation* ( ENSO ) dalam musim di Indonesia. Pada tahun 2015, El Nino mengakibatkan terlambatnya siklus monsun sehingga ada kemunduran dalam siklus musim dan menyebabkan curah hujan pada musim hujan berkurang (Hardian, 2016). Dengan bergesernya siklus musim maka nilai ZWD juga mengikuti dengan siklus tersebut. Hal tersebut membuktikan bahwa nilai ZWD dapat dipengaruhi oleh fenomena global seperti El Nino dan La Nina.

Pengaruh lainnya adalah berkurangnya curah hujan pada tahun 2015 dibanding tahun-tahun lainnya. Nilai ZWD tertinggi dari tahun 2015 paling rendah dibanding tahun lainnya. sehingga curah hujan juga dapat memengaruhi nilai ZWD. Nilai ZWD dapat selaras dengan curah hujan karena nilai ZWD dapat mengestimasi nilai PWV (*precipitable water vapor*), yaitu potensi uap air di troposfer yang dapat diubah menjadi presipitasi yang jatuh ke permukaan bumi, khususnya dalam bentuk curah hujan (Rakhecha, 2009) walaupun akan ada perbedaan pada nilai harian karena tidak semua kandungan uap air troposfer dikondensasi lebih lanjut menjadi tetes awan dan menjadi hujan (Wedyanto, dkk, 2018).

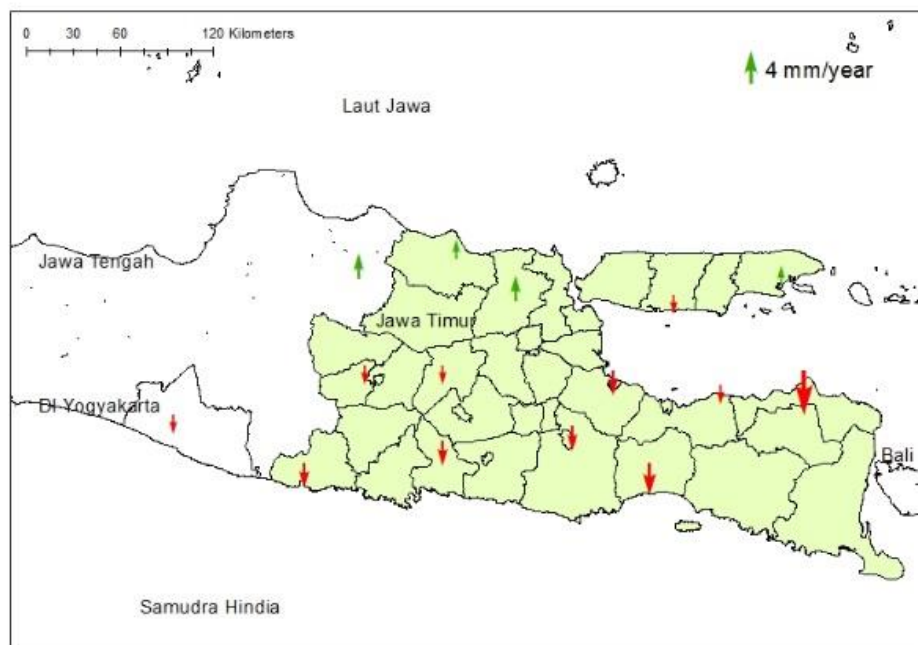


Gambar 5. Grafik Dekomposisi *time series* stasiun CMLG, CNGA, CPAS, CSMN (Pengarang, 2020)

Dekomposisi *time series* dilakukan menggunakan metode STL pada tiap stasiun seperti contoh pada Gambar 5. Dekomposisi menghasilkan empat komponen yang berurutan dari atas, yaitu *raw*, *seasonal*, *trend*, dan *remainder*. *Raw* menunjukkan nilai ZWD sedangkan berdasarkan nilai *trend* dapat diketahui pola peningkatan atau penurunan yang terjadi selama kurun waktu tertentu.

Pada stasiun CMLG menunjukkan adanya pola stabil pada 2015 dan peningkatan pada 2016 lalu penurunan pada 2017 hingga 2018. Keempat nilai *trend* dari hasil dekomposisi pada Gambar 5 menunjukkan grafik yang identik. Nilai trend tersebut dapat dibentuk sebagai tren linier untuk mengetahui persamaan dari garis perubahannya secara linier sehingga dapat diketahui kecepatan perubahan nilai dari waktu ke waktu. Seperti pada stasiun CMLG mengalami nilai penurunan 3.834 mm setiap tahunnya. Nilai tren linier dari masing-masing stasiun dapat direpresentasikan melalui Gambar 6.

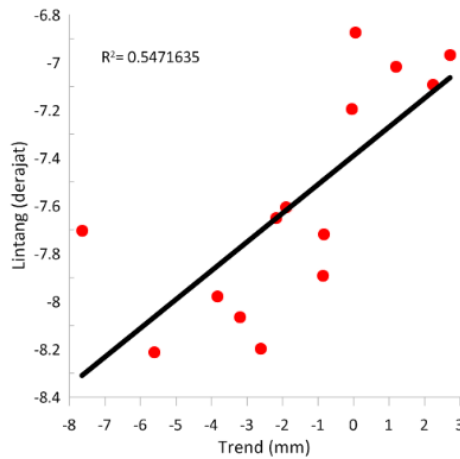
Nilai tren pada Gambar 6 diwakili oleh ukuran dan arah panah. Berikut ini merupakan tren linier dari nilai ZWD dalam periode empat tahun. Rata-rata tren dari seluruh stasiun sebesar 1,628 mm/tahun dengan pola penurunan. Pola penurunan terkecil berada pada stasiun csit dengan tren 7,647 mm/tahun dan pola kenaikan terbesar terjadi di stasiun cblr 2,715 mm/tahun. Hal ini dikarenakan timeseries stasiun CJEM hanya dalam waktu tiga tahun, sehingga memiliki perbedaan nilai tren yang cukup besar dibanding dengan stasiun lainnya.



Gambar 6. Distribusi nilai tren (Pengarang, 2020)

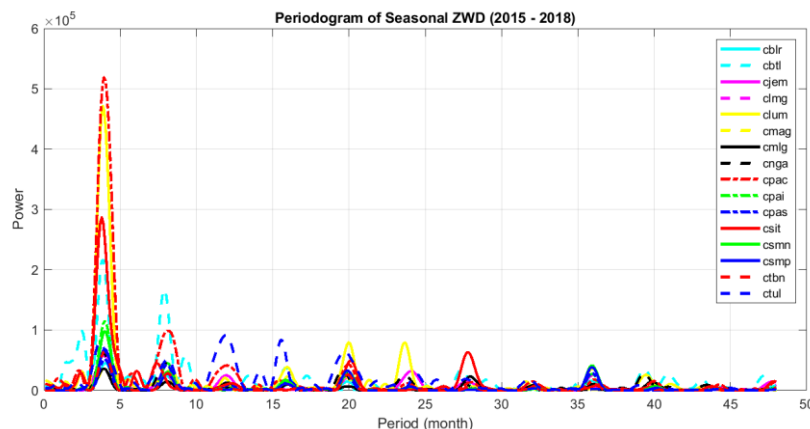
Pada Gambar 7 menunjukkan hubungan antara nilai tren dengan koordinat lintang dari stasiun CORS. Nilai tren memiliki hubungan yang kuat dengan koordinat lintang dengan nilai korelasi sebesar 0.740. Hal ini dikarenakan ZWD adalah komponen non-hydrostatic yang merupakan hasil dari pengurangan ZTD dengan komponen hydrostatic (ZHD). Dalam penelitian ini, komponen hydrostatic yang digunakan menggunakan fungsi dari koordinat lintang sesuai dengan Saastamoinen (1972) sehingga hasil nilai ZWD memiliki hubungan kuat dengan koordinat lintang. Oleh karena itu, koordinat lintang dapat mempengaruhi nilai tren dari ZWD.





Gambar 7. Scatter plot nilai trend dengan koordinat lintang stasiun (Pengarang, 2020)

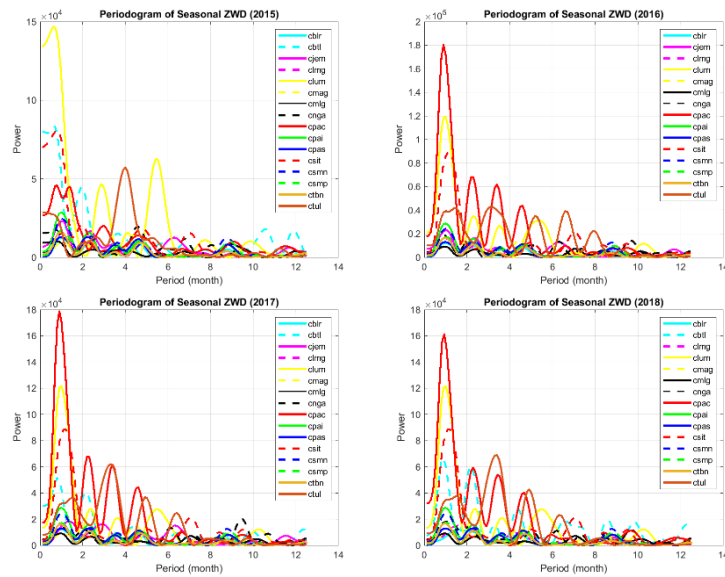
Pada dekomposisi didapatkan nilai seasonal yang menunjukkan variasi dari nilai ZWD dalam rentang waktu tertentu. Dapat dilihat pada Gambar 5 baris 2 yang menunjukkan bahwa pola dari faktor musiman ini mengalami perulangan tiap tahunnya. Nilai ini bergantung pada nilai ZWD di setiap stasiun. komponen seasonal dianalisis berdasarkan spektral dengan metode periodogram. Periodogram dengan teknik *Lomb - Scargle* bertujuan untuk mengekstrak sinyal dari nilai seasonal sehingga diketahui pola dari sinyal periodik.



Gambar 8. Periodogram ZWD tahun 2015 - 2018 (Pengarang, 2020)

Gambar 8 merupakan periodogram dalam periode empat tahun untuk seluruh stasiun. Setiap stasiun memiliki pola yang hampir sama dengan kekuatan sinyal yang berbeda-beda. Pada periodogram ini terlihat adanya pola annual/tahunan dan pola empat bulanan dengan kekuatan yang semakin lemah ke arah tahun 2018. Pada pola annual, CPAC, CLUM, CSIT, dan CBTL memiliki sinyal yang dominan kuat.

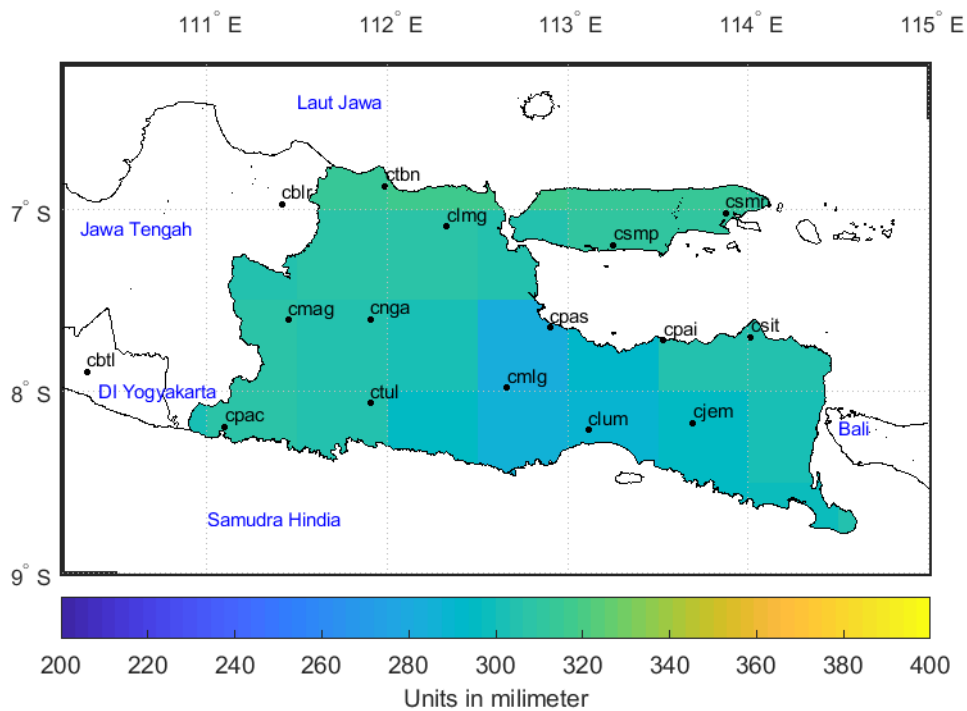
Pada Gambar 9 menampilkan nilai periodogram dengan periode satu tahun. Pada periodogram ini semakin jelas terlihat pola *annual* pada tiap tahunnya. Pada Gambar 8 dan 9 terjadi adanya perbedaan kekuatan sinyal, kekuatan tersebut akan berubah dalam periode waktu yang berbeda, semakin panjang periode waktu yang lebih lama akan mendapatkan nilai lebih kecil dibandingkan dengan periode waktu yang lebih pendek (Baldysz, dkk 2015).



Gambar 9. Periodogram ZWD periode satu tahun (Pengarang, 2020)

Faktor dominan yang mempengaruhi sinyal adalah perubahan suhu, presipitasi dan faktor iklim lain yang berhubungan dengan revolusi bumi mengelilingi matahari (Susilo, 2012). Sinyal periodik tahunan merupakan efek dari kekuatan sinar matahari tahunan (Mitchell, 1976).

### 3. Analisis Variasi Spasial

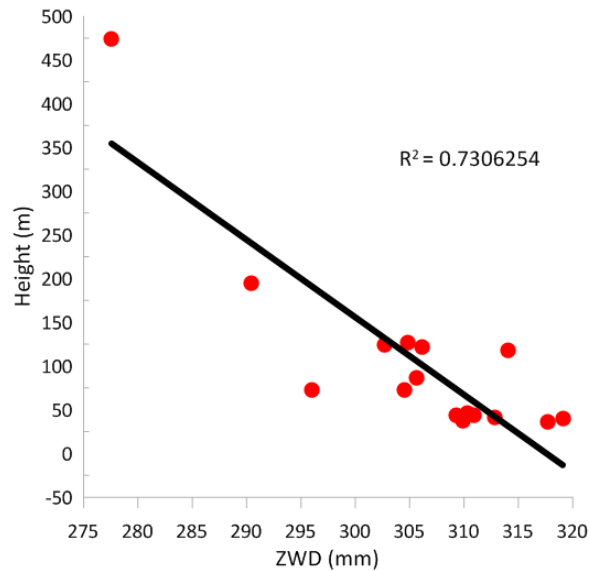


Gambar 10. Variasi spasial nilai ZWD di Jawa Timur (Pengarang, 2020)

Analisis variasi spasial dilakukan berdasarkan hasil gridding pada rentang waktu harian, bulanan, tahunan, dan empat tahunan. Pada Gambar 10 merupakan distribusi spasial ZWD dalam waktu empat tahunan. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat nilai yang menuju CMLG mengalami semakin rendah sedangkan nilai yang menuju arah CTBN semakin tinggi. Hal ini dimungkinkan adanya pengaruh topografi mengingat kondisi

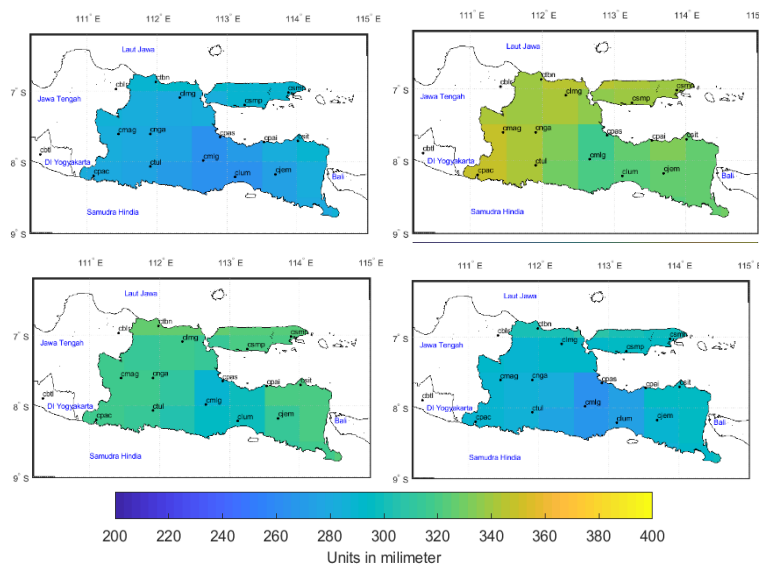
topografi di wilayah stasiun CMLG merupakan dataran tinggi dan pegunungan. Untuk memperkuat analisis, maka dihitung korelasi antara nilai ZWD dan tinggi stasiun.

Hubungan antara tinggi stasiun dengan nilai ZWD dapat dilihat pada Gambar 11. Tinggi yang dimaksud adalah tinggi ellipsoid berdasarkan hasil pengukuran GPS. Hasilnya menunjukkan korelasi negatif dengan nilai 0,855. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hubungan keduanya kuat sehingga diketahui bahwa semakin tinggi stasiun maka semakin rendah nilai ZWDnya, begitu pula sebaliknya. Penurunan nilai ZWD seiring dengan tingginya stasiun dapat disebabkan oleh pengaruh dari suhu. Pada dataran tinggi suhunya lebih rendah dibandingkan dengan dataran rendah. Hal tersebut menyebabkan nilai ZWD semakin rendah.



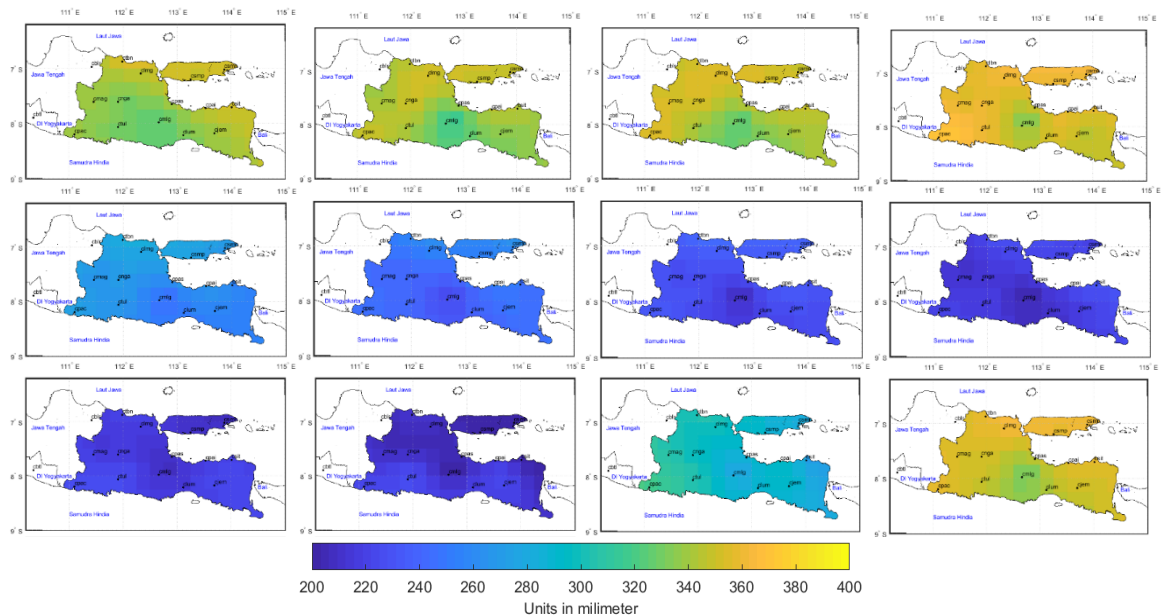
Gambar 11. Scatter plot Nilai ZWD dengan tinggi stasiun (Pengarang, 2020)

Pada tahun 2015 hingga 2018 terlihat adanya perbedaan nilai dalam variasi spasial ZWD di wilayah Jawa Timur. Pada tahun 2016, distribusi variasi spasialnya memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan tahun lainnya. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pada tahun tersebut memiliki rata-rata suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan tahun lainnya.



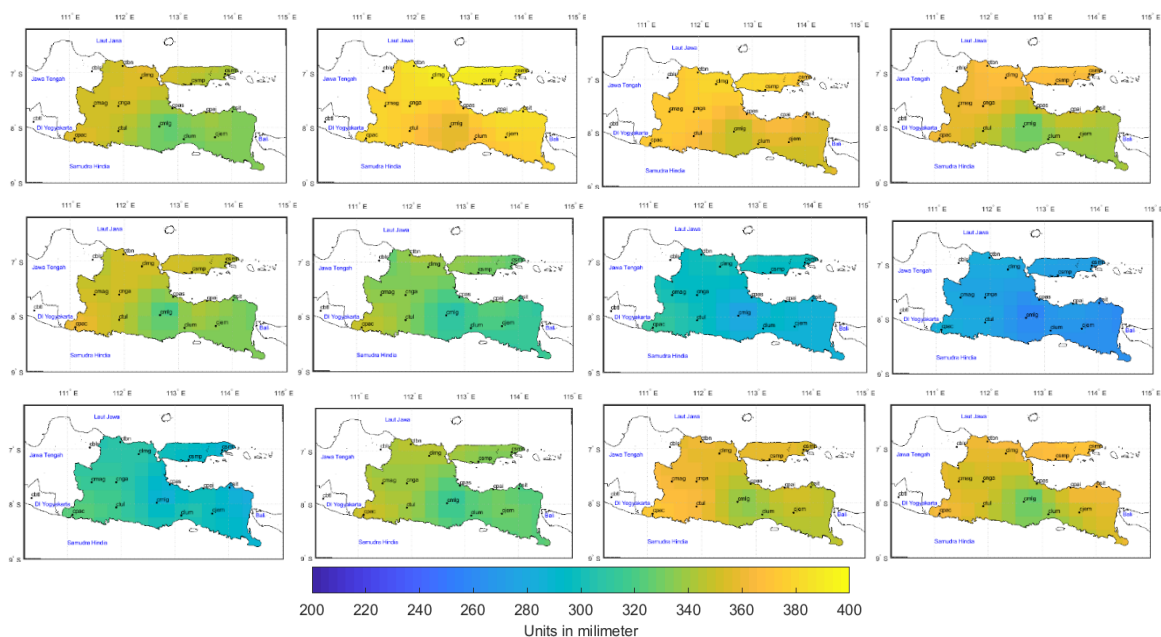
Gambar 12. Variasi spasial ZWD tahunan (2015 – 2018) (Pengarang, 2020)

Pola distribusi tahun 2015 pada bulan Januari hingga Maret memiliki nilai yang tinggi dibanding bulan Mei hingga Oktober yang cenderung rendah dan kemudian meningkat kembali pada bulan Desember. Pada bulan April, terlihat nilai paling tinggi berada pada wilayah Jawa Timur bagian barat daya yaitu pada stasiun CPAC dan sekitarnya. Pada bulan Oktober, nilai terendah berada pada wilayah Jawa Timur bagian utara dan tengah.



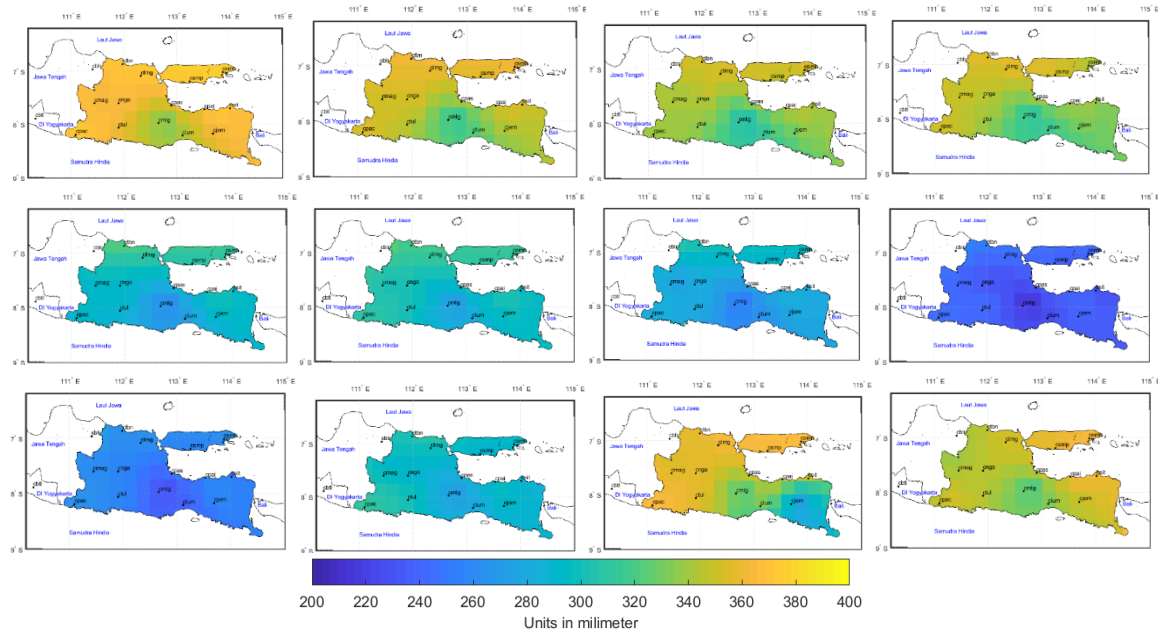
Gambar 13. Variasi spasial ZWD bulan Januari – Desember tahun 2015 (Pengarang, 2020)

Pada tahun 2016, terlihat pola nilai ZWD yang tinggi pada bulan Januari hingga bulan Juni. Pada bulan Juli hingga September nilainya cenderung rendah dan tinggi pada bulan Oktober. Bulan dengan nilai tertinggi adalah Februari dengan nilai yang paling tinggi berada di Pulau Madura. Nilai terendah yang terjadi pada bulan Agustus memiliki pola distribusi yang merata di seluruh wilayah hanya terlihat sedikit perbedaan di CMLG yang selalu lebih rendah. Pola variasi spasialnya terlihat adanya perbedaan nilai antara bagian barat dan timur pada beberapa bulan dengan bagian timur menunjukkan nilai yang lebih rendah dibanding bagian barat.

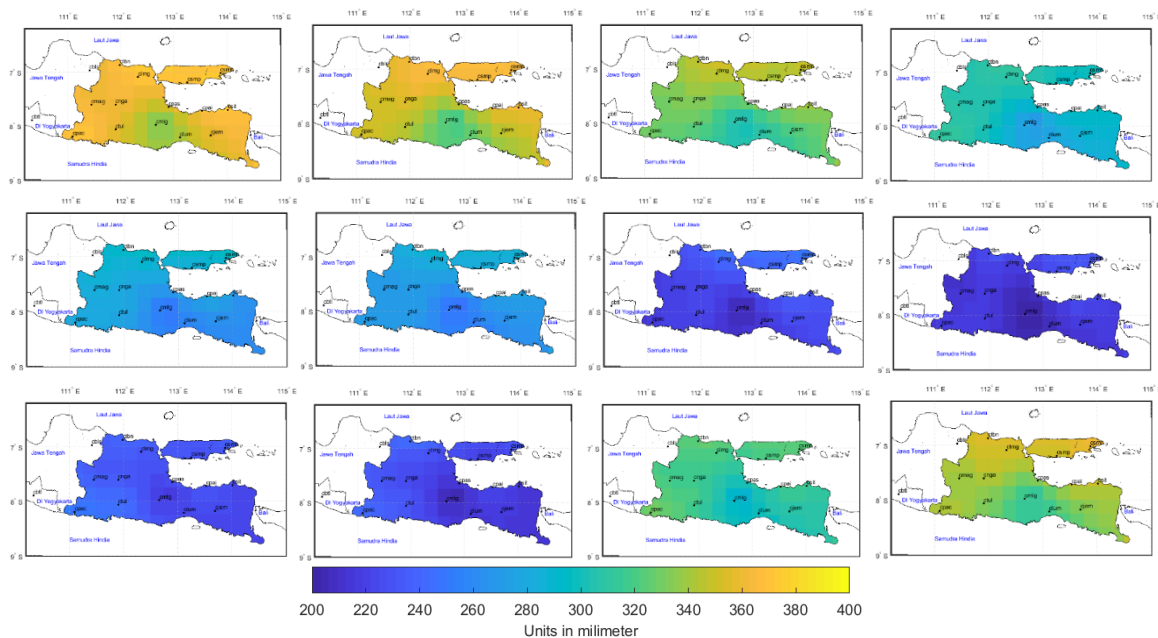


Gambar 14. Variasi spasial ZWD bulan Januari – Desember tahun 2016 (Pengarang, 2020)

Tahun 2017 menunjukkan nilai ZWD yang dominan rendah. Pola distribusi dengan nilai tinggi terjadi pada bulan Januari hingga April dan November hingga Desember. Pola dengan nilai yang rendah pada bulan Mei hingga Oktober. Pada bulan Januari mengalami nilai paling tinggi yang berada di sekitar Pulau Madura dan Jatim Utara. Nilai terendah pada bulan Agustus memiliki sebaran merata hampir di seluruh Jawa Timur dengan nilai yang sama. Variasi yang terlihat berbeda secara signifikan terdapat pada bulan November, wilayah Jatim bagian timur mengalami nilai yang rendah di sekitar 270 mm padahal bagian barat dan Pulau Madura sudah mengalami peningkatan nilai hingga lebih dari 350 mm.



Gambar 15. Variasi spasial ZWD bulan Januari – Desember tahun 2017 (Pengarang, 2020)



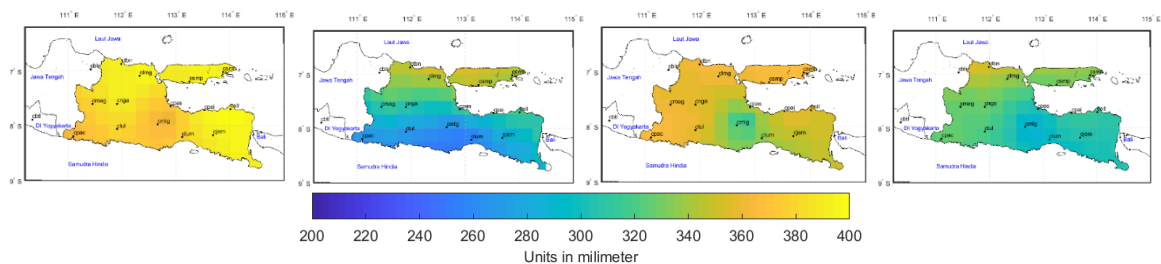
Gambar 16. Variasi spasial ZWD bulan Januari – Desember tahun 2018 (Pengarang, 2020)

Pada tahun 2018, pola dengan nilai tinggi terjadi pada bulan Januari hingga Maret dan Desember. Pada bulan April hingga Juni nilainya cenderung rendah, bulan Agustus sampai Oktober nilainya paling rendah. Pola nilai

terendah tersebar merata di seluruh bagian Jawa Timur dengan nilai paling rendah pada wilayah daerah CMLG sedangkan pola distribusi nilai tertinggi berada di wilayah Pulau Madura dan Jawa Timur bagian utara.

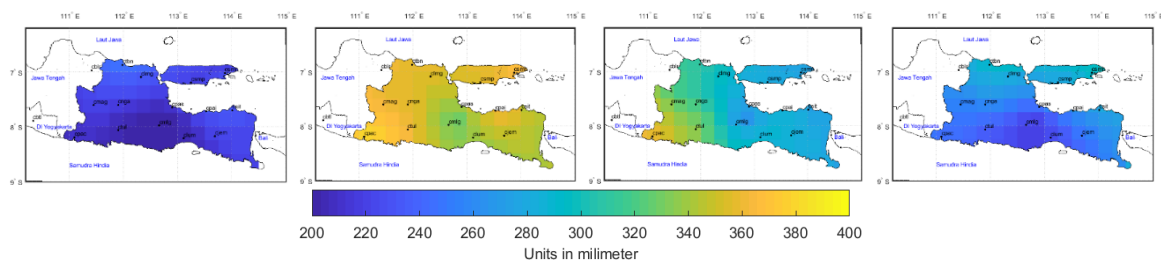
Berdasarkan variasi spasial bulanan diketahui bahwa distribusi nilai ZWD dipengaruhi oleh faktor musim yang diakibatkan adanya angin monsun Asia dan Australia. Pada musim penghujan, menunjukkan nilai yang tinggi dan sebaliknya pada musim kemarau, nilainya rendah. Analisis mengenai pengaruh monsun terhadap ZWD dapat diperkuat melalui variasi spasial dalam waktu harian.

Pola distribusi harian menunjukkan bahwa pada bulan Maret dan April mengalami perubahan nilai secara naik turun tidak teratur dalam satu bulan. Dapat dilihat pada Gambar 17 terdapat penurunan dan kenaikan nilai pada satu bulan secara signifikan. Pada *doy* 97, nilai ZWD bahkan mencapai 400 mm, berselang seminggu nilainya turun hingga paling tinggi hanya 350 mm dengan didominasi nilai yang rendah. Berselang seminggu, nilai meningkat kembali dan turun pada seminggu setelahnya.



Gambar 17. Variasi spasial ZWD *doy* 97, 104, 111, dan 118 tahun 2017 (Pengarang, 2020)

Aktivitas penurunan dan kenaikan yang signifikan dalam satu bulan juga terjadi pada bulan Oktober 2018. Pada Gambar 18, terlihat pada minggu kedua bulan Oktober mengalami peningkatan yang signifikan dibanding minggu sebelumnya. Pada minggu selanjutnya kembali menurun hingga pada *doy* 325

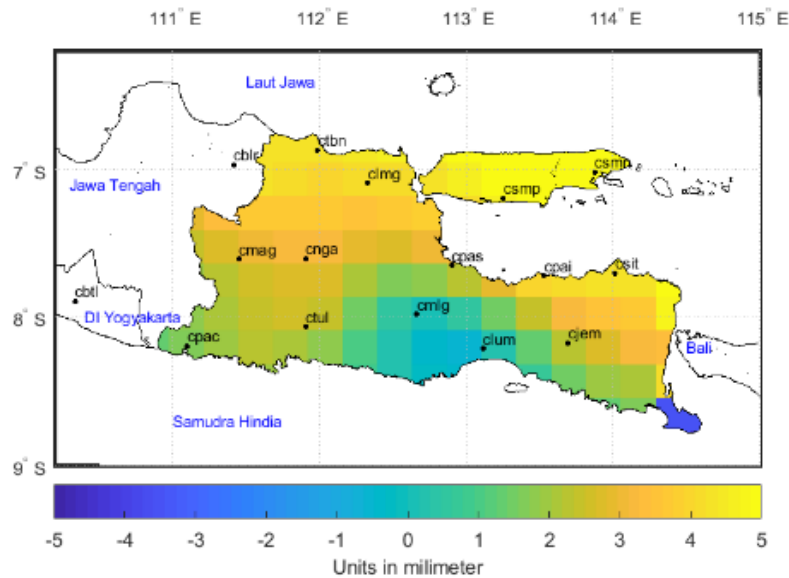


Gambar 18. Variasi spasial ZWD *doy* 304, 311, 328, dan 325 tahun 2018 (Pengarang, 2020)

Hal ini berkaitan dengan adanya musim peralihan yang ditandai dengan matahari bergerak melintasi khatulistiwa sehingga angin menjadi lemah dan arahnya tidak menentu yang menyebabkan cuaca tidak menentu. Periode Maret sampai April dikenal sebagai Musim Peralihan I (periode awal musim kemarau) sedangkan periode September hingga Oktober disebut sebagai musim Peralihan II (periode awal musim penghujan) (Ardila & Sibarani, 2016). Dengan pengaruh peralihan angin monsun menyebabkan nilai harian ZWD mengalami kenaikan dan penurunan yang acak dalam satu bulan.

Variasi spasial juga dapat dilihat berdasarkan nilai tren dari hasil interpolasi nilai ZWD. Gambar 19 menunjukkan tren nilai ZWD. nilai trend terkecil berada di wilayah stasiun CMLG dengan pola penurunan. Pada wilayah Jawa Timur bagian selatan selain wilayah CMLG terjadi pola kenaikan dengan trend yang rendah. Semakin ke arah utara, nilai tren semakin meningkat hingga paling besar berada di bagian Jawa Timur Utara dan Pulau Madura. Pada wilayah Banyuwangi bagian ujung Tenggara pulau Jawa, terjadi pola penurunan yang nilainya cukup signifikan dibanding wilayah lain, hal ini disebabkan oleh stasiun CJEM yang hanya menggunakan data tiga tahun dan jauhnya jarak untuk ekstrapolasi sehingga disarankan untuk menggunakan stasiun yang berada pada tepi-tepi wilayah seperti CNYU.





Gambar 19. Variasi spasial dari tren nilai ZWD (Pengarang, 2020)

Apabila dilihat berdasarkan distribusi spasial dalam waktu harian, terdapat perbedaan nilai yang lebih beragam antar wilayah. Hal ini dikarenakan adanya kondisi meteorologi dan cuaca yang berbeda-beda setiap wilayah tiap harinya. Oleh karena itu, nilai ZWD juga dipengaruhi oleh kondisi meteorologi dan cuaca lokal.

## Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa rata-rata bulanan nilai ZTD pada seluruh stasiun berada dalam rentang 2366,509 hingga 2682,408 mm dan ZWD berada dalam rentang 188,065 hingga 394,008 mm. Nilai ZWD dari data CORS dan meteorologi memiliki hubungan yang kuat dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,712.

Nilai ZWD pada bulan Oktober – April memiliki nilai yang cenderung tinggi dan April – Oktober memiliki nilai yang cenderung rendah. Berdasarkan hasil analisis rerata tahunan, Nilai ZWD dapat dipengaruhi oleh angin monsun Asia dan Australia yang menyebabkan musim, adanya fenomena global seperti El Nino dan La Nina, dan intensitas curah hujan. Rata-rata tren nilai ZWD sebesar 1,628 mm/tahun dengan pola penurunan. Tren linier ini memiliki hubungan yang kuat dengan keberadaan stasiun dalam koordinat lintang dengan korelasi sebesar 0,740. Selain itu pola sinyal periodik dalam periodogram menunjukkan pola *annual* atau tahunan dan empat bulanan. Beberapa faktor yang mempengaruhinya diantaranya lain perubahan suhu, presipitasi, dan faktor iklim.

Secara spasial, Nilai ZWD pada wilayah dengan stasiun berada pada daerah yang tinggi memiliki nilai yang lebih rendah hal ini karena nilai ZWD dipengaruhi oleh keadaan topografi yaitu tinggi stasiun dengan korelasi negatif. sebesar 0,855. Variasi spasial nilai ZWD dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu angin monsun, kondisi meteorologi lokal seperti suhu dan kelembabab, cuaca.

## Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BIG yang telah menyediakan data CORS dan kepada BMKG yang menyediakan data meteorologi, serta pihak lain yang membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- Abdelfatah, M. A., Mousa, A., Salama, I., & El-Filky, G. (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.
- Ardila, Y., & Sibarani, R. (2016). Analisis Kejadian El Nino dan Pengaruhnya Terhadap Intensitas Curah Hujan di Wilayah Jabodetabek (Studi Kasus : Periode Puncak Musim Hujan Tahun 2015/2018). *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*. No.2. Vol.17. hal. 65-73.
- Badan Pusat Statistika (BPS). (2018). *Jumlah Curah Hujan Menurut Bulan di Provinsi Jawa Timur, 2006-2017*. <https://jatim.bps.go.id/dynamictable/2018/01/23/274/jumlah-curah-hujan-menurut-bulan-di-provinsi-jawa-timur-2006-2016.html> diakses tgl 11 Juni 2020.
- Bai, Z. (2004). *Near-Real-Time GPS Sensing of Atmosphere Water Vapour*. Queensland: Cooperative Research Centre for Satellite Systems.
- Baldysz, Z., Nykiel, G., Figurski, M., Szafranek, K., & Kroszczyński, K. (2015). Investigation of the 16-Year and 18-year ZTD Time Series Derived from GPS Data Processing. *Acta Geophysica*, 1103-1125.
- Bevis, M., & Businger, S. C. (1994). GPS Meteorology : Mapping Zenith Wet Delays onto Precipitable Water. *Journal of Applied Meteorology*, 33(-), hal. 379-386.
- Hardian, S. (2016). *Sekilas Sistem Monsun Asia – Australia*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Jin, S., Jong Uk, P., Jung Ho, C., & Pil Ho, P. (2007). Seasonal Variability of GPS-Derived Zenith Tropospheric Delay (1994-2006) and Climate Implication. *Journal of Geophysical Research*, 112, hal. 1-11.
- Khaniani, A. S., & Ghahremani, M. (2018). Estimation Of GPS Tropospheric Delays Using Different Data Processing Strategies In Iran. *ANNALS OF GEOPHYSICS*, 61(6), hal. 1-15.
- Mitchell, J. M. (1976). An Overview of Climatic Variability and Its Causal. *Quaternary Research*, 6, 481-493.
- Mousa, A. E.-K., Aboualy, N., Sharaf, M., Zahra, H., & Darrag, M. (2016). Tropospheric wet delay estimation using GNSS: Case study of a permanent network in Egypt. *NRIAG Journal Astronomy and Geophysics*, V(-), hal. 76-86.
- Murray, F. W. (1966). *On the Computation of Saturation Vapour Pressure*. Santa Monica, Calif: the RAND Corporation.
- Rakhecha, P. a. (2009). *Applied Hydrometeorology*. Berlin: Springer-Verlag.
- Ramage, C. S. (1971). *Monsoon Meteorology*. New York: Academic Press.
- Saastamoinen. (1972). Contribution to the Theory of Atmospheric Refraction. *Bulletin Geodesique*, 107, 13-34.
- Smith, E. K., & Weintraub, S. (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.
- Wedyanto, K., Tanuwijaya, Z., Pramansyah, A., & Wijaya, D. (2018). Korelasi Musiman antara Zenith Wet Delay (ZWD) dan Debit Sungai di DAS Cikapundung Hulu, Kawasan Bandung Utara, Jawa Barat. *Seminar Nasional Geomatika*. Vol.3. hal. 741-750.



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).